

UTILIDADE E VALOR DA INTEGRAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA PRODUÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA A NÍVEL MUNICIPAL

Inês Sousa e Silva Boavida-Portugal

**Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, área de
especialização Detecção Remota e Sistemas de Informação
Geográfica**

MARÇO 2010



Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, Área de Especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, elaborada no âmbito do projecto *GeoSat – Methodologies to extract large scale GEOgraphical information from very high resolution SATellite images* (PTDC/GEO/64826/2006), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, em curso no e-GEO — Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa.



Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas . Universidade Nova de Lisboa

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território, área de especialização Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, realizada sob a orientação científica de Professor Doutor José António Tenedório, e co-orientação de Mestre Teresa Santos e Mestre Sérgio Freire

*“A ciência, como um todo, não é nada mais do que
um refinamento do pensar diário”*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Dirijo o meu primeiro agradecimento ao meu pai, sem o apoio do qual a realização do trabalho aqui apresentado não teria sido possível. Um obrigada pelo encorajamento e apoio incansável. Agradeço também à minha irmã pela paciência. À minha avó pelo carinho e preocupação. À minha mãe.

Um agradecimento ao meu orientador Professor Doutor José António Tenedório, e co-orientadores Mestre Teresa Santo e Mestre Sérgio Freire, pela direcção que me ajudaram a dar a este trabalho, pelo apoio incansável e disponibilidade demonstrada em todas as fases do trabalho.

Um reconhecimento ao Professor Doutor João Figueira de Sousa e Professor Doutor Rui Pedro Julião pela compreensão e dispensa de algumas tarefas para me dedicar à elaboração da dissertação.

Ao Doutor Fernando Cruz, Dr. João Carlos Silva e Dr^a Sandra Efigénio, um agradecimento pela disponibilidade de partilha de informações úteis para o estudo apresentado.

Aos colegas de Mestrado e colegas nesta jornada Cláudia Caseiro, Sónia Galiau e Bruno Neves, obrigada pela partilha de dúvidas e inseguranças, de material, e pelo apoio que deram. Acima de tudo, Obrigada pela Amizade.

Às minhas amigas Anocas, Inês, Catarina, Carolina, Bárbara e Inês Silva um Obrigada especial pela compreensão do “tempo ausente” e preocupação com o avanço da dissertação. Pela Amizade.

Um agradecimento também à pessoa que mais contribuiu para o desenvolvimento desta dissertação, Hugo Passarinho, pelas horas perdidas a ler e reler, rever, formatar, comentar, e acima de tudo apaziguar em momentos mais difíceis. Um obrigada pela paciência, tempo e carinho.

Por fim, a todas as pessoas que me apoiaram indirectamente durante o período em que decorreu este trabalho.

RESUMO

UTILIDADE E VALOR DA INTEGRAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA PRODUÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA A NÍVEL MUNICIPAL

INÊS SOUSA E SILVA BOAVIDA-PORTUGAL

PALAVRAS-CHAVE: Detecção Remota, Imagens de Satélite, Município, Resolução Espacial, Informação Geográfica, Uso do Solo.

A monitorização das transformações do solo urbano e a actualização de informação geográfica têm vindo a assumir um papel cada vez mais importante para as autarquias, sendo por isso necessário encontrar novos mecanismos para a detecção destas alterações em tempo útil. A actualização de cartografia à escala municipal em Portugal tem sido feita com uma periodicidade de 10 anos, nomeadamente por força da necessidade de elaboração do Plano Director Municipal. Contudo, a forte componente dinâmica das transformações em solo urbano tornam esta periodicidade desadequada à eficiente monitorização e actualização de cartografia. A informação geográfica disponível ao nível local deverá, assim, possuir as características adequadas para os fins aos quais está sujeita, nomeadamente quanto à sua escala e actualização.

Todavia, a falta de meios técnicos, o tempo dispendido e os elevados custos associados a uma digitalização manual de objectos a partir de análise visual de imagem, levanta a necessidade de concepção de uma nova metodologia para aquisição e actualização de informação geográfica municipal. É neste contexto que a extracção automática de elementos a partir de imagens de satélite surge como componente pertinente no domínio de actualização cartográfica e de monitorização de alterações em ambiente urbano, devido às vantagens que possuem relativamente a processos de produção de informação geográfica tradicionais.

Neste sentido, este estudo propõe a discussão da utilidade da informação geográfica como suporte ao ordenamento do território à escala municipal, elaborando um ponto de situação desta face à legislação portuguesa, mais especificamente tendo em conta o disposto nos Instrumentos de Gestão Territorial.

De modo a demonstrar o valor da integração de imagens de satélite de alta resolução na produção de informação geográfica municipal é feito um contraponto entre os processos de produção de informação geográfica operacionais a partir de imagens de satélite (análise visual de imagem e processamento digital de imagem) aos processos de produção experimentais: extracção automática de informação geográfica.

Pretende-se ainda expor um caso de estudo que teste uma metodologia geral de extracção de elementos a partir de imagens de satélite de alta resolução espacial no processo de produção de informação geográfica municipal, para a área de estudo do Bairro Madre Deus em Lisboa.

ABSTRACT

UTILITY AND VALUE OF THE INTEGRATION OF HIGH SPATIAL RESOLUTION IMAGERY IN THE PRODUCTION OF GEOGRAPHICAL INFORMATION A MUNICIPAL LEVEL

INÊS SOUSA E SILVA BOAVIDA-PORTUGAL

KEYWORDS: Remote Sensing, Satellite Imagery, Municipalities, Spatial Resolution, Geographical information, Land Use.

Monitoring of urban land transformation and updating geographic information has been assuming an increasingly important role for local authorities and is therefore necessary to find new mechanisms to detect these changes in time. The cartography update in municipalities in Portugal has been made with a periodicity of 10 years, particularly by virtue of the necessity of developing the Director Municipal Plan. However, the strong momentum of the transformations in urban soil makes this timing inappropriate for efficient monitoring and updating of cartography. The geographic information available at local level should therefore have appropriate characteristics for the purposes for which it is subject, in particular on its scale and upgrade.

The lack of technical means, the time spent and the high costs associated with manual processing of objects from visual image analysis, raises the need to devise a new methodology for acquisition and updating of municipal geographical information. It is in this context that the automatic extraction of elements from high resolution satellite imagery emerges as relevant in the context of updating cartography and monitoring changes in the urban environment, due to the advantages they possess in relation to traditional production processes of geographic information.

Thus, this study proposes the discussion of the utility of geographical information as support for urban planning, producing a comparison with the Portuguese law, more specifically regarding the disposed in the Land Management Instruments.

In order to demonstrate the value of the integration of high resolution satellite imagery in the production of municipal geographical information, it's made a comparison between the operational production processes of geographical information from satellite imagery (visual imaging and digital image processing) and experimental production processes: automatic extraction of spatial information.

The aim is also to present the case study to test a general method for the extraction of elements from high resolution satellite imagery in the production of municipal geographical information, for the study area of Bairro Madre Deus in Lisbon.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
-------------------------------------	----------

CAPÍTULO II: UTILIDADE DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO SUPORTE AO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO À ESCALA MUNICIPAL.....	7
--	----------

II. 1. Utilização de Informação Geográfica ao nível municipal.....	8
II. 2. A Informação Geográfica face à legislação portuguesa de ordenamento do território 13	
II. 2. 1. Legislação dos Instrumentos de Gestão Territorial	13
II. 2. 2. Legislação de regulação da produção de cartografia.....	22
II. 2. 2. 1. Legislação a nível nacional	22
II. 2. 2. 1. 1. Sistema Nacional de Informação Geográfica.....	22
II. 2. 2. 1. 2. Sistema Nacional de Informação Territorial	24
II. 2. 2. 1. 3. Normas para produção de cartografia	25
II. 3. Levantamento das necessidades municipais em informação geográfica	26
II. 4. Síntese sobre a utilidade da informação geográfica como suporte ao ordenamento do território à escala municipal.....	32

CAPÍTULO III: VALOR DA INTEGRAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO NA PRODUÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA MUNICIPAL.....	35
---	-----------

III. 1. As imagens de satélite de alta resolução espacial	35
III. 2. Os processos de produção operacionais a partir de imagens de satélite: análise visual de imagem e processamento digital de imagem.....	39
III. 3. Os processos de produção experimentais a partir de imagens de satélite: extracção automática de informação geográfica.....	44

III. 4. O valor da extracção automática de elementos	53
III. 4. 1. As vantagens	55
III. 4. 2. As desvantagens.....	56
III. 5. Síntese sobre o valor da integração de imagens de satélite de alta resolução na produção de informação geográfica municipal	58
 CAPÍTULO IV: ESTRUTURA PARA UMA METODOLOGIA GERAL DE EXTRACÇÃO DE ELEMENTOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA MUNICIPAL.....	61
IV. 1. Elaboração de entrevistas sobre a utilização e necessidade de informação geográfica ao nível municipal.....	64
IV. 2. Análise visual de imagem.....	65
IV. 3. Reconhecimento da área de estudo.....	65
IV. 4. Processamento: Extracção automática de elementos no Feature Analyst	66
IV. 5. Avaliação da qualidade dos resultados da extracção	71
 CAPÍTULO V. EXPERIMENTAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE EXTRACÇÃO DE ELEMENTOS	72
V. 1. Área de estudo e dados espectrais.....	72
V. 2. Análise Visual de Imagem	74
V. 3. Trabalho de campo.....	77
V. 4. Processamento: Extracção automática de elementos com recurso ao FA	77
V. 4.1. Extracção de edificado	80
V. 4. 2. Extracção de vias.....	97
V. 5. Avaliação da Qualidade Temática dos Resultados da Extracção Automática de Elementos.....	109

CAPÍTULO VI: CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
--	------------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
---	------------

ÍNDICE DE FIGURAS	134
--------------------------------	------------

ÍNDICE DE TABELAS	137
--------------------------------	------------

ANEXOS.....	i
--------------------	----------

ANEXO I - Conteúdo documental dos PMOT definido pelo DL n.º 380/99 com alterações introduzidas pela Portaria n.º 138/2005.....	i
--	----------

ANEXO II - Onda electromagnética (adaptado de LILLESAND <i>et al.</i> , 2004)	ii
---	-----------

ANEXO III – Metodologia adoptada na terceira extracção para edificado	iii
---	------------

ANEXO IV – Metodologia adoptada na primeira extracção para as vias.....	iv
---	-----------

ANEXO V - Metodologia adoptada na terceira extracção para as vias	v
---	----------

ANEXO VI – Índices de Qualidade Temática para a primeira extracção da classe edificado	vi
--	-----------

ANEXO VII – Índices de Qualidade Temática para a segunda extracção da classe edificado	vi
--	-----------

ANEXO VIII – Índices de Qualidade temática para a terceira extracção da classe edificado	vi
--	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS

AML	Área Metropolitana de Lisboa
AVI	Análise Visual de Imagem
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
CNIG	Centro Nacional de Informação Geográfica
CMA	Câmara Municipal da Amadora
CML	Câmara Municipal de Lisboa
CMO	Câmara Municipal de Oeiras
DGOTDU	Direcção Geral de Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano
EAE	Extracção Automática de Elementos
FA	Feature Analyst
FCSH-UNL	Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa
IFOV	<i>Instantaneous Field of View</i>
IGC	Instituto Geográfico e Cadastral
IGP	Instituto Geográfico Português
IGT	Instrumentos de Gestão Territorial
IHS	<i>Intensity Hue Saturation</i>
INSPIRE	Infra-estrutura para a Informação Espacial Europeia
IPCC	Instituto Português de Cartografia e Cadastro
LBOTU	Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e do Urbanismo
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
ND	Nível Digital
NTI	Novas Tecnologias de Informação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MIG	Metadados de Informação Geográfica
PDI	Processamento Digital de Imagem
PDM	Planos Directores Municipais

PEOT	Planos Especiais de Ordenamento do Território
PIMOT	Planos Intermunicipais de Ordenamento do Território
PMOT	Planos Municipais de Ordenamento do Território
PNPOT	Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território
PP	Planos de Pormenor
PROT	Planos Regionais de Ordenamento do Território
PS	Planos Sectoriais
PU	Planos de Urbanização
RAN	Reservas Agrícolas Nacionais
REN	Reservas Ecológicas Nacionais
REM	Radiação Electromagnética
RJIGT	Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNIG	Sistema Nacional de Informação Geográfica
SNIT	Sistema Nacional de Informação Territorial
UMA	Unidade Mínima de Análise
USGS	Land Use and Land Cover Classification
VLS	Virtual Learning Systems
WFS	Web Feature Service
WMS	Web Map Service

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

Actualmente, a cartografia de ocupação e uso do solo utilizada em processos municipais é a produzida sobretudo no âmbito da elaboração do Plano Director Municipal (PDM). Esta cartografia deve ser produzida sobre cartográfica de base que deverá cumprir um conjunto de regras definidas no catálogo de objectos (escala 1: 10 000) do Instituto Geográfico Português (IGP) – Autoridade Nacional de Cartografia. Uma vez em conformidade com os requisitos, a informação geográfica pode ser associada ao PDM que tem uma vigência máxima de 10 anos, findos os quais ocorre a revisão do plano e a actualização de cartografia.

Contudo, nas actividades autárquicas diárias há uma consulta constante de informação geográfica nos vários departamentos, existindo uma grande necessidade de conhecer o estado actual do território. Levanta-se então a questão da periodicidade de actualização de informação geográfica: se a cartografia de base do PDM tem tendencialmente uma actualização de 10 em 10 anos, então esta demonstra não ser compatível com as necessidades de informação actualizada por parte dos serviços autárquicos. Consequentemente, durante um largo período de tempo não se encontram disponíveis dados de ocupação do solo actualizados, dificultando as tomadas de decisão ao nível do ordenamento e planeamento do território, consubstanciando o pressuposto da necessidade da existência de cartografia actualizada com maior periodicidade, de forma a reflectir as mudanças de uso do solo (SANTOS, 2003).

Actualmente, uma das principais condicionantes à produção e actualização de cartografia municipal deve-se à exigência e complexidade dos requisitos exigidos pelo catálogo de objectos do IGP, tornando a sua actualização lenta e dispendiosa levando a uma desactualização e por conseguinte desadequação da cartografia face aos requisitos diários com que um município se depara. No caso do município de Lisboa, este apresenta forte dinâmica existindo constantes alterações decorrentes da evolução provocada por obras de edificado, na rede viária, alteração de classes e uso do solo urbano, etc. Por isso, a obtenção expedita de cartografia digital a escalas compatíveis com as exigências das autarquias e da própria lei¹, constitui um requisito imperativo (FREIRE *et al.*, 2008).

¹ Legislação referente aos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT).

Os métodos tradicionais de produção de cartografia a grande escala (municipal) utilizaram, até recentemente, fotografias aéreas como base devido à sua grande resolução permitindo uma elevada precisão temática e espacial (SANTOS, 2003), bem como à utilização da visão estereoscópica para auxiliar a foto-interpretação. Diversos países continuam a utilizar fotografia aérea como informação de base para a produção de cartografia de ocupação do solo, entre este encontra-se o caso de Portugal. Apesar de esta abordagem ter sido bem sucedida, produzindo vários mapas, possui alguns aspectos problemáticos e dispendiosos: requer muitos recursos, nomeadamente a nível de mão-de-obra, uma vez que o método utilizado para processar a informação geográfica é o de foto-interpretação.

Com o aumento do número de satélites de observação da Terra em órbita, do número de sensores que registam imagens, designadamente de alta resolução espacial e com o desenvolvimento tecnológico nomeadamente a nível de *softwares* de extracção automática de elementos (EAE) que se tem dado uma mudança de paradigma na produção de cartografia. Tradicionalmente, com recurso a imagens de satélite, a extracção de informação geográfica é realizada através de técnicas de processamento digital e/ou análise visual. Depois de processadas as imagens, são elaborados produtos finais que transmitem a informação pretendida (e.g. um mapa temático, estatísticas, etc.).

Contudo, com o desenvolvimento tecnológico proporcionou-se uma especialização das características das imagens disponíveis. De facto, no decorrer da última década, com o surgimento das imagens de satélite de alta resolução que a sua utilização tem vindo a aumentar. Foram lançados novos satélites de alta resolução, sendo que actualmente se encontram em órbita 12 satélites capazes de captar imagens com resoluções espaciais superiores a 5 metros. São exemplos destes: GeoEye-1 (Pancromático 0,41 cm, Multiespectral 1,65 cm), Worldview-2 (Pancromático 0,46 cm, Multiespectral 1,8 cm), Worldview-1 (Pancromático 0,50 cm), IKONOS (Pancromático 1 m, Multiespectral 4 m), QuickBird (Pancromático 0,61 cm, Multiespectral 2,44 cm), encontrando-se ainda em fase de desenvolvimento o satélite GeoEye-2, cujo lançamento está previsto para 2011, com capacidade para adquirir imagens da superfície terrestre com resolução espacial de 0,25 m.

Assim sendo, a utilização de imagens de satélite para a produção de cartografia possui como vantagens em detrimento da fotografia aérea, entre outras, a possibilidade de uma *“aquisição periódica e a cobertura de grandes áreas a custos relativamente baixos”* (SANTOS, 2003:2). De acordo com a autora as imagens de satélite têm sido muito utilizadas por constituírem dados geralmente mais baratos e permitirem uma produção cartográfica mais rápida. Este facto não exclui que a produção de cartografia com base em classificação automática de imagens de satélite tenha desvantagens. Estas residem na classificação com base no *pixel* (mas não só) dificultando a identificação de algumas ocupações do solo. Reside também na confusão de comportamentos espectrais que uma classificação com base nas características do *pixel* pode acarretar. Assim sendo o uso de classificadores tradicionais ao nível do pixel não produz resultados compatíveis com a exigência das grandes escalas.

Por conseguinte surgem novos desafios na classificação das imagens de satélite que se prendem com o *“encontrar de soluções para a identificação dos elementos nas imagens de forma análoga à interpretação realizada pelo cérebro humano”* (FREIRE *et al.*, 2008:2). Desde a década de 70 que se tem vindo a tentar automatizar o processo de extracção de elementos a partir de imagens de satélite tendo neste sentido sido desenvolvidas, como alternativa a uma classificação ao nível do *pixel*, metodologias para classificação ao nível do objecto, e mais recentemente para extracção automática de elementos (EAE) cujo objectivo é a identificação e digitalização automática de forma expedita dos elementos de interesse para o analista.

Encontram-se então reunidas as condições necessárias ao desenvolvimento de novas abordagens para produção de informação geográfica a grande escala com base em imagens de satélite de alta resolução, entre elas o desenvolvimento tecnológico, o aumento das características das imagens de satélite, o preço geralmente mais barato das imagens de satélite, bem como o desenvolvimento de ferramentas e metodologias de EAE. Se até agora a produção de informação geográfica assentava nos métodos tradicionais (análise visual de imagem e processamento digital de imagem) actualmente estão a ser desenvolvidas técnicas para uma extracção automática de elementos geográficos a partir de imagens de satélite de alta resolução, conduzindo a uma mudança de paradigma nos processos de produção de cartografia de ocupação e uso do solo. A presente dissertação aborda por isso um tema muito actual e pertinente devido

ao contexto em que se insere: de necessidade de actualização de cartografia municipal, de mudança de paradigma nos métodos de produção de informação geográfica, e de desenvolvimento de metodologias alternativas, no caso a extracção automática de elementos. A dissertação enquadra-se no âmbito do Projecto GeoSat² – *Metodologias para extracção de informação geográfica a grande escala a partir de imagens de satélite de alta resolução*, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/GEO/64826/2006) em curso no e-GEO, Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas – Universidade Nova de Lisboa.

Neste sentido, o principal objectivo da dissertação é demonstrar a utilidade e valor da integração de imagens de satélite de alta resolução no processo de produção de cartografia de ocupação do solo, face às necessidades de informação geográfica a nível municipal. Para tal, a dissertação está organizada em seis capítulos, A Figura 1 representa a organização de temas por capítulos.

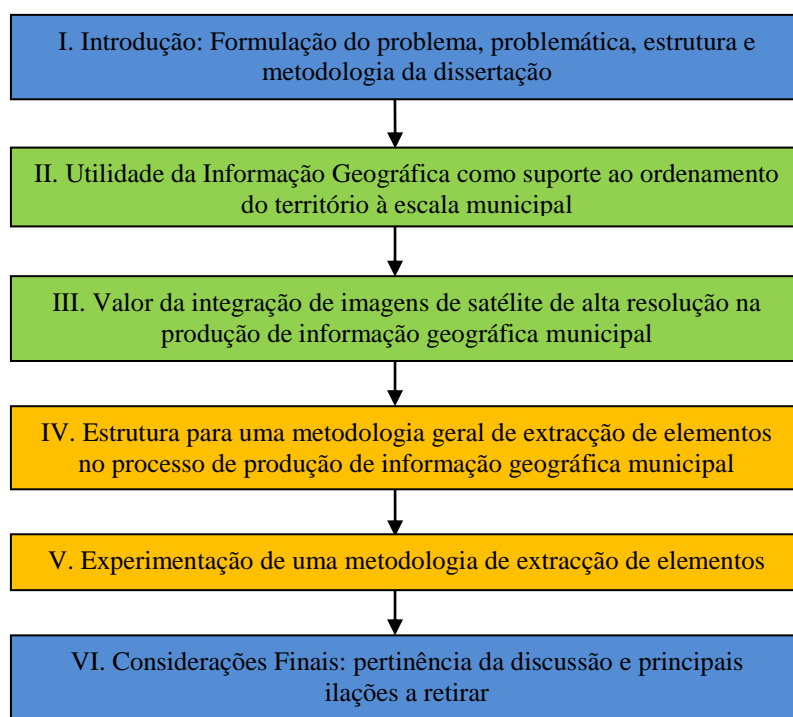


Figura 1 – Esquema geral da dissertação

² Mais concretamente insere-se na tarefa 3 do projecto, com o objectivo da aquisição e estruturação de informação espacial que possa servir de referência no processo de avaliação da qualidade da geo-informação extraída directamente das imagens de satélite de alta resolução espacial.

A azul, encontram-se os capítulos de introdução e conclusão que estabelecem os pressupostos de partida e as considerações retiradas do trabalho efectuado. A verde, encontram-se os capítulos de enquadramento teórico que pretendem fazer a revisão de literatura e descrever estado da arte da temática. A laranja, estão os capítulos práticos de descrição da metodologia adoptada no caso de estudo e aplicação da mesma.

O primeiro capítulo consiste na introdução, que pretende elaborar a formulação do problema, de uma forma crítica, evidenciando a problemática e pertinência do estudo. É também definida a estratégia a desenvolver através da descrição da metodologia adoptada em cada capítulo.

No Capítulo II é discutida a utilidade da informação geográfica como suporte ao ordenamento do território à escala municipal. Para tal é demonstrada qual a utilização de informação geográfica ao nível municipal, sendo também elaborado um ponto de situação desta face à legislação portuguesa, mais especificamente face ao disposto nos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT) em matéria de informação geográfica. É realizado um levantamento das necessidades municipais em informação geográfica através da aplicação de uma entrevista a uma amostra de autarquias da Área Metropolitana de Lisboa (AML). A partir dos resultados da entrevista é realizado um contraponto entre as necessidades municipais em informação geográfica face à legislação (IGT). Por fim, é elaborada uma síntese sobre as principais ideias a retirar do capítulo.

O valor da integração de imagens de satélite de alta resolução na produção de informação geográfica municipal é discutido no Capítulo III. É feito um contraponto entre os processos de produção de informação geográfica operacionais a partir de imagens de satélite (análise visual de imagem e processamento digital de imagem) aos processos de produção experimentais: extracção automática de informação geográfica. É também realizado o estudo do valor da extracção automática de elementos, tendo em conta as suas vantagens e desvantagens face aos processos de produção tradicionais. Para concluir o capítulo é realizada uma síntese sobre o valor da integração de imagens de satélite de alta resolução na produção de informação geográfica municipal.

No Capítulo IV é apresentada a estrutura para uma metodologia geral de extracção de elementos no processo de produção de informação geográfica municipal. Esta metodologia vai ser aplicada no Capítulo V.

No Capítulo VI serão elaboradas as considerações finais, avaliando em que medida os objectivos propostos na dissertação foram cumpridos. As considerações finais darão especial destaque à discussão da utilidade e do valor da utilização de imagens de satélite de muito alta resolução espacial face às necessidades de informação geográfica a nível municipal. Essas considerações revelarão a efectiva pertinência da discussão, actual e recorrente, em torno das vantagens comparativas que a extracção automática de elementos poderá oferecer.

Os resultados expectáveis decorrentes da presente dissertação são os seguintes:

- a) Capítulo II: Resultados da entrevista: inventário de necessidades ao nível municipal quanto a informação geográfica, suas características e intervalo temporal de actualização.
- b) Capítulo V: Informação de referência: digitalização de informação espacial útil à avaliação da qualidade de dados obtidos por processamento de imagens de satélite de alta resolução espacial e para avaliação de qualidade.
- c) Capítulo V: Informação obtida por extracção automática de elementos: com recurso ao software Feature Analyst (FA) são extraídos dois temas: edificado e vias, cuja conformidade com a informação de referência será posteriormente avaliada.
- d) Capítulo V: Avaliação da qualidade temática da informação extraída: cálculo de uma matriz de erro que avalia a concordância entre a área da classe na informação de referência com a área do mesmo elementos nos resultados da extracção automática.

CAPÍTULO II: UTILIDADE DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO SUPORTE AO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO À ESCALA MUNICIPAL

A valorização da informação geográfica está no centro das preocupações actuais da sociedade devido ao elevado ritmo de transformações à escala municipal³, a consequente necessidade de conhecimento e análise prospectiva da sua evolução. A informação geográfica⁴ no ordenamento do território reveste-se de grande importância por estar relacionado directamente com o facto de uma *“generalidade de fenómenos ser georreferenciável, o que oferece um campo de aplicação vastíssimo e diversificado”* (MATOS, 2008:1).

O ordenamento e planeamento do território em áreas de grande dinâmica, como o são as áreas urbanas (e.g. Lisboa), reveste-se muitas das vezes de uma carência de informação que permita uma análise crítica de fenómenos e dinâmicas e sirva de base ao processo de tomada de decisão. Actualmente, a disponibilização da informação geográfica é um dos factores chave para a tomada de decisões, especialmente quando as acções a serem tomadas se querem em intervalos de tempo relativamente curtos.

Quando falamos em ordenamento do território referimo-nos a todas as temáticas *“que dizem respeito à evolução, concepção e gestão da organização do território”* (ALVES, 2007:48). Assim sendo, enquanto processo de planeamento e de gestão das interacções entre as actividades humanas e espaços físicos, o ordenamento do território, requer o acesso, em tempo real, a informação geográfica actualizada a partir da qual é possível apoiar a tomada de decisões.

De facto, a informação geográfica é um elemento essencial para a prossecução de objectivos municipais devido ao facto de uma vasta panóplia de fenómenos urbanos serem passíveis de representação e referenciação espacial. Em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é possível proceder à integração de informação espacial de diferentes fontes (como detecção remota, informação estatística, mapas em suporte analógico, etc.), permitindo a visualização de informação geográfica bem como das relações entre fenómenos com representação espacial, identificação e compreensão de distribuições, monitorização de transformações, gestão de património, produção de

³ Ao nível do município, usualmente trabalha-se em escalas superiores a 1: 10 000.

⁴ Conjunto de elementos interrelacionados com uma referência explícita ou implícita ao território, que são seleccionados para representar uma determinada realidade.

cartografia, etc., desempenhando por isso um papel preponderante no apoio à tomada de decisões autárquicas.

Actualmente, numa sociedade moderna o modelo de desenvolvimento social e económico caracteriza-se pela existência de processos de aquisição, armazenamento, processamento, distribuição e divulgação de informação proporcionando a criação de conhecimento. Neste contexto, a existência e divulgação de informação geográfica permite um conhecimento mais detalhado do território abrindo campo para a sua preservação, valorização e eventual desenvolvimento.

O presente capítulo tem por objectivo demonstrar a utilidade que a informação geográfica tem para o ordenamento do território e gestão municipal. Para tal, elabora-se numa primeira fase um enquadramento teórico sobre a utilização de informação geográfica ao nível municipal, tendo em conta o papel dos SIG no planeamento territorial.

Numa segunda fase é realizado um resumo da legislação respeitante aos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT) no que concerne à informação geográfica, e da legislação relativa à regulação da produção de cartografia.

Por último é apresentada uma entrevista a três autarquias da Área Metropolitana de Lisboa (AML) sobre as necessidades municipais em termos de informação geográfica. É pretendido com esta abordagem conceptual aferir a utilidade da informação geográfica para a gestão autárquica.

II. 1. Utilização de Informação Geográfica ao nível municipal

Empiricamente todos utilizamos informação geográfica quando tentamos georreferenciar determinado objecto, como por exemplo quando procuramos uma farmácia de serviço pensamos “onde é?” e “a que distância se encontra?”. Estamos portanto não só a georreferenciar o objecto como a proceder a cálculos e raciocínios que relacionam o local onde nos encontramos com o local para onde pretendemos ir. De acordo com MATOS (2008) os cinco principais domínios típicos de utilização de informação geográfica são: informação cadastral e infra-estruturas, planeamento e gestão de recursos naturais, modelação espacial e temporal, visualização de informação geográfica e navegação. Todos estes domínios são úteis para o Planeamento Territorial, fazendo com que a informação geográfica, e mais especificamente os Sistemas de

Informação Geográfica (SIG), que possibilitam a sua manipulação, surjam como uma importante ferramenta para o ordenamento do território e prossecução de objectivos estipulados pela legislação dos IGT (ver Capítulo II. 2.1.) para o território.

➤ **Os Sistemas de Informação Geográfica em planeamento territorial**

Desde o seu aparecimento o conceito e forma de SIG têm evoluído. Podemos considerar que os SIG começaram por ser um tipo de sistemas de informação que permitia a visualização e manipulação de dados geográficos, uma base de dados geográfica, um sistema que ajuda na tomada de decisões permitindo uma análise da realidade espacial sendo por isso mais abrangente. Com o seu desenvolvimento e maior divulgação os SIG passam a ter maior utilização, adquirindo importância em áreas em que até aí não tinham aplicação. O âmbito cada vez mais alargado destes sistemas deve-se à cada vez maior e mais diversa aplicação que lhe é atribuída *“dans les domaines relatifs à l’économie, l’aménagement, l’urbanisme et l’environnement”* (STEINBERG, 2002:102).

Muito mais do que um sistema de referência espacial os SIG são sistemas complexos de gestão de diversos tipos de dados, são plataformas de conhecimento espacial, com importância na gestão diária de actividades humanas essenciais. O aumento do recurso a estes sistemas como ajuda a tomada de decisões tem sido exponencial, já que possibilitam o trabalho em diversas áreas desempenhando um papel de extrema importância na gestão territorial e espacial, como refere JULIÃO (2004) *“os SIG oferecem extraordinárias possibilidades para explorar e materializar acontecimentos e situações que se desenvolvem num dado tempo sobre um palco que é por excelência, dinâmico, real, e determinante para o crescimento das organizações. Fala-se evidentemente da análise e exploração territorial de fenómenos que, até há muito pouco tempo, eram apenas estudados de uma forma abstracta e superficial”*.

O conhecimento do uso do solo tem-se revelado muito importante para o planeamento territorial e é considerado *um “essential element for modeling and understanding the Earth as a system”* (LILLESAND *et al.* 2004:215). O recurso à utilização da variável espaço nos processos de decisão é uma ferramenta muito útil, numa perspectiva de ordenamento do território/desenvolvimento sustentável/prossecução de objectivos definidos para o território, devido à capacidade

de com os SIG se proceder à integração de informação espacial de diferentes fontes (como detecção remota, informação estatística, mapas em suporte analógico, etc.). Estes possibilitam a produção/visualização de mapas de uso do solo que são um elemento privilegiado para visualização de informação geográfica, identificação e compreensão de distribuições, bem como das relações entre fenómenos com representação espacial. Contudo a crescente utilização dos SIG alterou a importância e utilização dos mapas, que são agora “*an integral part of the process of spatial data handling*” (LONGLEY *et al.*, 2005:49).

O planeamento territorial requer uma quase constante actualização de informação geográfica para formular políticas e programas governamentais. Num contexto territorial em que “*metropolization is spatially developing by itself (...) due to the transformation of the demographic, social-cultural and political-economical structures*” (ABRANTES *et al.*, 2005:9), os modelos de planeamento assumem cada vez mais importância havendo necessidade de os definir, discutir, formular “*and re-build as change occurs, so development strategies and decisions should be more efficient*” (MORGADO *et al.*, 2005)

Até recentemente, para as autarquias, os SIG e a cartografia não tinham relevo para o aumento da proximidade autarquia-cidadão. Actualmente muitas câmaras municipais “*dispõem de tecnologia para emissão de plantas por computador, em tempo real*” (TENEDÓRIO *et al.*, 2003:203). Este facto, suportado pela legislação de ordenamento do território (ver Capítulo II. 2.), só é possível através do recurso às Novas Tecnologias da Informação (NTI) (mais especificamente os SIG, detecção remota e *world wide web*), que possibilitam a produção, manipulação, integração, análise e disponibilização da informação geográfica em tempo útil.

Os SIG são ferramentas muito importantes em planeamento territorial, devido a disponibilizarem funcionalidades que desempenham um papel fulcral nas várias etapas do processo de planeamento, nomeadamente: análise e diagnóstico, proposta e decisão, discussão pública, avaliação e monitorização (ver Figura 2).

Na fase de análise e diagnóstico recorre-se aos SIG pelas elevadas capacidades destes em proceder à: integração, análise/modelação, apresentação/visualização de informação. Para obter um bom diagnóstico é necessário recorrer à integração de dados de diferentes domínios do território, “*assim o recurso aos SIG que, com a sua*

articulação da informação através do vector geográfico, permitem uma eficaz compatibilização de dados, revela-se imprescindível para incrementar o conhecimento territorial” (JULIÃO, 2001:147).

Em relação á ferramenta análise/modelação esta permite um melhor nível de interpretação da informação existente, permitindo uma eficaz análise espacial e temporal dos fenómenos. Os SIG permitem fazer a ligação entre as componentes gráfica e alfanumérica (dados quantitativos ou qualitativos) recorrendo a bases de dados e cartografia digitalizada. A cartografia permite: inventariar recursos humanos e naturais; identificar potencialidades de desenvolvimento; monitorizar mudanças nas actividades humanas, do solo e do ambiente. A ligação entre a informação disponibilizada pela cartografia de base e a informação alfanumérica, pode ser estabelecida através do recurso a sistemas de referenciação espacial através de: sistema de coordenadas geográficas que permitem fazer a ligação entre vários sistemas e diferentes níveis de informação, da toponímia que permite ligar sistemas de redes e de áreas referidos através de moradas postais, e através de sistemas de redes e de áreas que permitem delimitar áreas de construção, de gestão de serviços, bairros, redes de serviços públicos, pontos de abastecimento de combustível, etc.

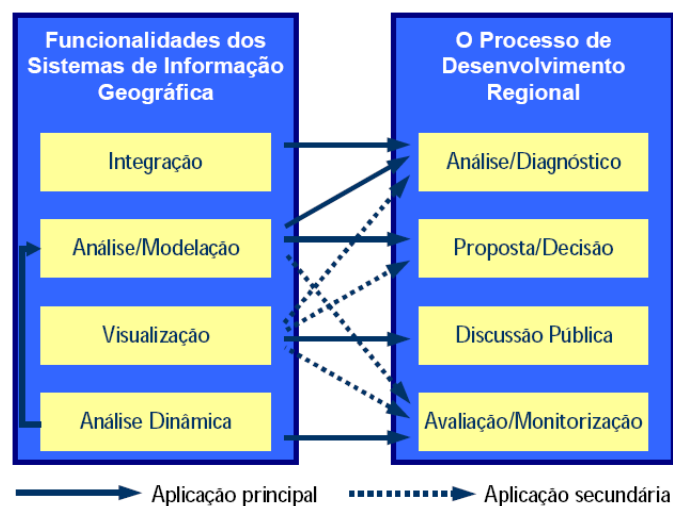


Figura 2 – Funcionalidades dos SIG e Processo de Planeamento Territorial
Fonte: JULIÃO, 2001:145

No que concerne à etapa proposta e decisão, o papel dos SIG é o de estipular cenários alternativos de desenvolvimento. Visto ser uma das fases cruciais do processo de planeamento e ser necessário a partir da análise e diagnóstico decidir eixos

prioritários de desenvolvimento, os SIG desempenham um papel imprescindível, principalmente devido à possibilidade de visualização dos resultados. Os SIG dispõem de ferramentas de análise, capazes de criar modelos virtuais de simulação dos efeitos criados pela introdução de novas variáveis nos sistemas. É possível gerar estes cenários virtuais que permitem antecipar acções e procedimentos, sendo um recurso inestimável na prevenção e minimização de impactos negativos de determinados acontecimentos.

No âmbito da discussão pública os SIG funcionam como veículos da apresentação das decisões através da representação cartográfica dos resultados. Deste modo a participação pública torna-se muito mais apelativa ao público que usualmente é confrontado com relatórios técnicos com linguagem muito específica. Assim sendo, a visualização dos resultados conjugada com a divulgação na *internet*, a participação pública torna-se mais interessante e apelativa aos olhos do cidadão. Com efeito, um dos grandes desafios da gestão local do século XXI é dar resposta às exigências crescentes dos cidadãos. Isto implica uma gestão mais eficiente de *“resources, planning and taking responsible decisions, and, above all, keeping the public up to date on information and opening the way to their participation”* (PENABAD e LLOBET, 2005:1). De facto, numa óptica de planeamento territorial o exercício pleno da cidadania só é alcançado quando se atingem níveis elevados de participação pública. Para tal, é uma premissa a necessidade do cidadão se manter informado para poder *“discutir a geografia das gerações do presente e ajudar a planear a mudança do território para preparar a geografia das gerações futuras”* (TENEDÓRIO *et al.* 2003:203).

Para além de contemplar as dinâmicas territoriais é necessário ter em conta dinâmicas temporais em planeamento territorial. É neste âmbito que surge a última etapa do processo de planeamento: avaliação e monitorização. Segundo JULIÃO (2001:149) é aqui que as funções de análise dinâmica dos SIG se vêm a revelar imprescindíveis, permitindo um acompanhamento das dinâmicas espaço-temporais dos fenómenos, de forma a prever tendências futuras. A monitorização do sistema deverá ser efectuada, no sentido de se conseguir um ajustamento e actualização do mesmo.

II. 2. A Informação Geográfica face à legislação portuguesa de ordenamento do território

A última década do século XX foi marcante para o ordenamento do território em Portugal. Cobriu-se quase a totalidade do território continental com Planos Directores Municipais, Reservas Agrícolas Nacionais (RAN) e Reservas Ecológicas Nacionais (REN), o que representa um esforço notável por parte do governo central e das autarquias. Para suportar este facto existiu uma forte mudança a nível de legislação dos IGT de forma a que o solo municipal seja classificado com critérios uniformes em todo o continente.

II. 2. 1. Legislação dos Instrumentos de Gestão Territorial

Em 1982 é aprovado o primeiro regime legal do Plano Director Municipal (PDM) definido pelo Decreto-Lei n.º 208/82 de 26 de Maio, que estabelece as bases gerais de regulamentação do instrumento de planeamento territorial. São definidas *“metas a alcançar nos domínios de desenvolvimento económico e social do município nas suas relações com o ordenamento do território”* bem como os objectivos e elementos constituintes do plano. Entre os vários objectivos, destaca-se a necessidade de proceder à *“classificação do uso e destino do território municipal, definindo o regime geral da edificação e parcelamento da propriedade, a eventual transformação da rede urbana e as condições de acessibilidade dos aglomerados”* (artigo 3º). A noção de uso do solo tinha sido já introduzida pelo Decreto-Lei n.º 33/921 de 5 de Setembro de 1944, referente aos Planos Gerais de Urbanização e Expansão, embora de forma incoerente e pouco rigorosa. Estes planos debruçavam-se sobre as zonas urbanas e urbanizáveis, utilizavam escalas de grande detalhe (1: 1 000 e 1: 2 000, inadequadas ao âmbito territorial) e visavam sobretudo grandes obras públicas.

Passados quase trinta anos são publicados novos diplomas (Decretos-Lei n.º 560/71 e n.º 561/71, de 17 de Dezembro), referentes aos Planos Gerais e Parciais de Urbanização. De entre as várias inovações, destaca-se o estabelecimento de uma hierarquia nos planos de urbanização (noção de Planeamento processo em cascata). É ainda introduzida a noção de zonamento e as escalas de trabalho são ajustadas ao âmbito de cada plano.

Com o Decreto-Lei n.º 208/82 o conceito de zonamento do território municipal passa a constituir obrigatoriamente objecto das disposições do plano. Através do zonamento do território municipal, o PDM passa a dispor sobre a delimitação, o uso, o destino e o regime de transformação das diversas zonas. É determinado o regime de consulta do plano, estando este disponível na sede do município em local a destinar expressamente para o efeito.

Contudo, a eficácia do Decreto-Lei n.º 208/82 foi reduzida. Nos oito anos de vigência do Decreto-Lei foram aprovados apenas cinco PDM, sendo eles o de Évora, Mora, Ponte de Sor, Moita e Oliveira do Bairro. Esta baixa eficácia deve-se a vários factores entre eles a escassez de informação de base, insuficiência e desactualização da cartografia e a ausência de meios informáticos, bem como o longo e complexo processo de faseamento, a falta de capacidades técnicas municipais e de gabinetes técnicos privados para acompanhar a elaboração e implementação dos Planos, entre outros.

O Decreto-Lei n.º 69/90 de 2 de Março introduz algumas inovações relativamente aos diplomas anteriores nomeadamente no que diz respeito ao âmbito territorial e ao conteúdo de cada tipo de plano municipal. O diploma regula a elaboração, aprovação e ratificação dos planos municipais de ordenamento do território, consagrando todos os planos municipais de ordenamento do território de modo articulado, designadamente os planos directores municipais, os planos de urbanização e os planos de pormenor. São introduzidas as noções de “classificação do uso do solo” e de “uso dominante”. Neste contexto, é de salientar o trabalho de SANTOS (2002) com a sua dissertação de mestrado contribuiu para o estabelecimento do uso do solo a utilizar nas cartas de ordenamento dos PDM.

Apesar de estes conceitos não serem claramente descritos, referem-se a classes de espaços que devem ser definidas em função do uso dominante: urbano, urbanizável, industrial, de indústrias extractivas, agrícola, florestal, cultural e natural e canal. Assim, segundo o artigo 9º do Decreto-Lei, o PDM deve estabelecer uma estrutura espacial para o território do município e a classificação dos solos, o perímetro urbano e os indicadores urbanísticos, tendo em conta os objectivos de desenvolvimento, enquanto o Plano de Pormenor estabelece a concepção do espaço urbano, dispondo designadamente, sobre usos do solo.

Em relação ao diploma anterior há também uma grande simplificação do conteúdo e dos processos passando os Planos a serem elaborados a partir de uma base de conteúdo mínimo obrigatório que as Autarquias podem ou não complementar com estudos e propostas mais aprofundadas. Determinam-se ainda prazos para a elaboração do PDM.

No que respeita à publicação, a planta síntese e o regulamento dos planos municipais são publicados em Diário de República bem como no boletim municipal. Quando solicitada consulta pelo público a autarquia, que conserva os processos dos planos municipais, deve passar certidões das diligências solicitadas para elaboração, apreciação, aprovação e ratificação, bem como da eventual revisão, alteração ou suspensão do plano quando for o caso.

O Decreto-Lei n.º 69/90 revestiu-se de grande importância não só por constituir a legislação vigente por um período de 9 anos, como também por ter preconizado o suporte à maioria dos PDM de 1ª geração. De facto, até 1999 mais de 250 PDM foram aprovados, tendo a cobertura integral do País sido alcançada em 2003, com a aprovação do PDM de Góis, já sob jurisdição do Decreto-Lei n.º 310/2003 de 10 de Dezembro.

A existência de vários instrumentos de gestão territorial desarticulados entre si, sujeitos a várias tutelas e sem qualquer enquadramento a nível de política resultou na publicação da Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e do Urbanismo (LBOTU), designada Lei n.º 48/98, de 11 de Agosto. O princípio e objectivo desta Lei é estabelecer as bases da política de ordenamento do território e de urbanismo, definindo e integrando *“as acções promovidas pela Administração Pública, visando assegurar uma adequada organização e utilização do território, na perspectiva da sua valorização, tendo como finalidade o desenvolvimento económico, social e cultural integrado, harmonioso e sustentável do País, das diferentes regiões e aglomerados urbanos”* (Lei nº 48/98). A política de ordenamento do território e do urbanismo assenta num sistema de gestão territorial organizado em três âmbitos distintos: o nacional, o regional e o municipal. Estes são concretizados através dos instrumentos de gestão territorial, que obedecem a uma hierarquia entre os vários tipos de instrumento: de desenvolvimento territorial, de planeamento territorial, de política sectorial e de natureza especial.

No que concerne ao regime de uso do solo o conceito de classificação do solo é claramente explicitado, sendo ainda introduzida a noção de qualificação do solo. O primeiro conceito é entendido como determinante do destino básico dos terrenos e assenta na distinção fundamental entre solo rural e solo urbano, sendo o segundo conceito de qualificação do solo entendido enquanto *“aproveitamento dos terrenos em função da actividade dominante que neles possa ser efectuada ou desenvolvida, estabelecendo o respectivo uso e edificabilidade”* (Lei n.º 48/98). No Artigo 15º da Lei é definido que o regime de uso do solo é estabelecido em instrumentos de planeamento territorial, que definem para o efeito as adequadas classificação e qualificação.

É implementada a noção de direito de informação, sendo que no diploma anterior já existem referências a consulta pública mas não especificamente ao direito à informação. É então definido que os particulares têm direito à informação tanto nos procedimentos de elaboração e alteração, como após a publicação dos instrumentos de gestão territorial, podendo consultar o respectivo processo, adquirir cópias e obter certidões.

Passados 9 anos de vigência do Decreto-Lei n.º 69/90 de 2 Março, este é revogado pelo Decreto-Lei n.º 380/99 de 22 de Setembro, que procede à definição do regime aplicável aos instrumentos de gestão territorial criados ou reconduzidos ao sistema pela lei de bases, bem como, no que respeita aos instrumentos já existentes, à revisão dos regimes vigentes, em moldes significativamente inovadores. O diploma desenvolve as bases da política de ordenamento do território e de urbanismo, definindo o regime de coordenação e articulação dos âmbitos nacional, regional e municipal do sistema de gestão territorial, o regime geral de uso do solo e o regime de elaboração, aprovação, execução e avaliação dos instrumentos de gestão territorial.

O âmbito nacional é concretizado através do programa nacional da política de ordenamento do território (PNPOT), dos planos sectoriais (PS) e dos planos especiais de ordenamento (PEOT) do território com incidência territorial. Quanto ao âmbito regional este é concretizado através dos planos regionais de ordenamento do território (PROT). Por fim o âmbito municipal é consubstanciado através dos planos intermunicipais de ordenamento do território (PIMOT), planos municipais de ordenamento do território (PMOT), compreendendo estes os planos directores municipais, os planos de urbanização (PU) e os planos de pormenor (PP).

Ao nível municipal são os planos municipais de ordenamento do território, também designados Instrumentos de Planeamento Territorial, que definem “*modelos de evolução previsível da ocupação humana e da organização de redes e sistemas urbanos e, na escala adequada, parâmetros de aproveitamento do solo e de garantia da qualidade ambiental*” (Decreto-Lei n.º 380/99). Estes são aprovados pelos municípios, têm natureza regulamentar e de vincular a entidades públicas e particulares. São definidos claramente o objecto e conteúdo destes planos. Saiba-se que o objecto do PDM é definido como o modelo de estrutura espacial do território municipal, que assenta na classificação do solo e que se desenvolve através da qualificação do mesmo.

No que toca ao outro instrumento de planeamento territorial, o Plano de Urbanização, este estipula a organização espacial do território municipal integrado no perímetro urbano, que necessite de intervenção integrada de planeamento.

Por fim falta abordar o Plano de Pormenor. Este desenvolve e concretiza, com detalhe, propostas de organização espacial de qualquer área específica do território municipal. Corresponde ao plano de maior escala, sendo por isso os aspectos tratados de maior detalhe, como é perceptível pela constituição do conteúdo material onde é elaborada uma definição e caracterização da área de intervenção, situação fundiária e desenho urbano, compreendendo espaços públicos, de circulação, localização equipamentos e zonas verdes, e distribuição de funções.

Uma alteração posteriormente introduzida em relação ao Decreto-Lei n.º 69/90 diz respeito ao regime de alteração dos instrumentos de planeamento territorial, passando os planos municipais de ordenamento do território a ser objecto de alterações de regime simplificado. Se no diploma anterior os planos só poderiam ser alterados decorridos três anos sobre a respectiva entrada em vigor, com o Decreto-Lei n.º 380/99, as alterações de natureza técnica que traduzam meros ajustamentos do plano, entre elas: acertos de cartografia determinados por correcções de cadastro, de transposição de escalas, de definição de limites físicos identificáveis no terreno, bem como por discrepâncias entre plantas de condicionantes e plantas de ordenamento, designadas alterações sujeitas a um regime procedimental simplificado, são possíveis no período anterior aos 3 anos estipulados como mínimo para o desencadear de um processo de alteração. É ainda de referir que é neste diploma que pela primeira vez se faz referência

ao termo “cartografia”, sendo que nos diplomas anteriores as referências são a plantas, documentos gráficos e mapas.

O regime de uso do solo é definido, pelo Artigo 71º, nos PMOT através da classificação e da qualificação do solo, conceito introduzido na Lei n.º 48/98 e que mantém as mesmas orientações: a classificação do uso do solo determina o destino básico dos terrenos, distinguindo solo rural de urbano. A reclassificação do solo como solo urbano passa a ter carácter excepcional, sendo limitada aos casos em que tal for comprovadamente necessário, isto é, casos em que a dinâmica demográfica, o desenvolvimento económico e social e a indispensabilidade de qualificação urbanística levem a uma alteração da classificação do uso do solo.

Relativamente à qualificação do regime de uso do solo esta classifica a utilização dominante a ser desenvolvida, fixando usos e quando possível edificabilidade. São admitidas as seguintes categorias: espaços agrícolas ou florestais, espaços de exploração mineira, espaços afectos a actividades industriais, espaços naturais, espaços destinados a infra-estruturas ou a outros tipos de ocupação humana que não impliquem classificação como solo urbano. A definição da utilização dominante bem como das categorias relativas ao solo rural e ao solo urbano obedece a critérios uniformes aplicáveis a todo o território nacional.

O Decreto-Lei n.º 380/99 define pela primeira vez claramente o termo de perímetro urbano, já introduzido no Decreto-Lei n.º 69/90, que compreende: solos urbanizados, solos cuja urbanização é possível, e solos afectos à estrutura ecológica.

No que diz respeito ao direito à consulta e informação por parte dos cidadãos dos documentos constituintes do plano, todos os interessados têm direito a ser informados sobre a elaboração, aprovação, acompanhamento, execução e avaliação dos instrumentos de gestão territorial. É ainda definido que as entidades responsáveis pela elaboração e pelo registo dos instrumentos de gestão territorial devem “*criar e manter actualizado um sistema que assegure o exercício do direito à informação, designadamente através do recurso a meios informáticos*”, constituindo este facto uma importante inovação em matéria de informação geográfica ao nível municipal, face ao Decreto-Lei n.º 69/90 (Artigo 5º).

O Decreto-Lei n.º 310/2003 de 10 de Dezembro vem introduzir alterações fundamentalmente no âmbito municipal do sistema de gestão territorial, em especial no

capítulo relativo ao procedimento de formação dos planos. Visa também ajustar o regime jurídico dos instrumentos de planeamento e ordenamento do território estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 380/99, de forma “*a aumentar a celeridade aos procedimentos e assegurar a sua aplicação efectiva e conferir operatividade à figura do plano de pormenor”* (Preâmbulo). Em matéria de classificação de uso do solo municipal a principal alteração é precisamente no âmbito do plano de pormenor. É definido que este estabelece a organização espacial de parte determinada do território municipal, incluída em perímetros urbanos, podendo englobar solo rural complementar que exija uma intervenção integrada de planeamento.

Os elementos que acompanham os planos municipais de ordenamento do território (PDM, PU e PP), para além dos definidos pelo Decreto-Lei n.º 380/99, são fixados na Portaria n.º 138/2005 de 2 de Fevereiro. O Anexo I define o conteúdo documental dos planos municipais de ordenamento do território definido pelo Decreto-Lei n.º 380/99 e com as alterações introduzidas pela Portaria n.º 138/2005. Através de uma análise do mesmo quadro podemos aferir que a Portaria 138/2005 veio adicionar, aos elementos já estipulados pelo Decreto-Lei 380/99, ao PDM: a planta de enquadramento regional a uma escala inferior à do PDM, a planta da situação existente, o relatório e/ou planta com indicação das licenças de operações urbanísticas emitidas, bem como a carta da estrutura ecológica municipal. No que concerne ao PU os elementos adicionados são: a planta de enquadramento regional a uma escala inferior à do PDM, a planta da situação existente, o relatório e/ou planta com indicação das licenças de operações urbanísticas emitidas, a carta da estrutura ecológica municipal, e por fim as plantas de identificação do traçado de infra-estruturas. O PP teve também elementos complementares adicionados relativamente ao estipulado no Decreto-Lei n.º 380/99, sendo eles: a planta de enquadramento regional, a planta da situação existente, o relatório e/ou planta com indicação das licenças de operações urbanísticas emitidas, e as plantas de elementos técnicos.

Com a aprovação do regulamento geral do ruído pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, impõe-se no Artigo 3º que os planos directores municipais sejam também acompanhados por um mapa de ruído e os planos de pormenor por um relatório sobre recolha de dados acústicos ou mapa de ruído.

A quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 380/99 contempla a disponibilização e actualização de informação ao cidadão. Com efeito, a Lei n.º 56/2007 de 31 de Agosto dispõe que os planos municipais de ordenamento do território passam a estar disponíveis on-line em formato digital (Figura 3). Fica também estipulado nesta lei que todo o conteúdo documental dos PMOT deve ser disponibilizado no respectivo sítio electrónico e que as plantas devem estar disponíveis à mesma escala e com as mesmas cores e símbolos dos documentos aprovados pelo respectivo município. No que concerne à actualização da informação, o conteúdo de cada plano de urbanização ou de pormenor em vigor deve ser actualizado no prazo máximo de 1 mês após a entrada em vigor de qualquer alteração. Como pena do não cumprimento das obrigações previstas na presente lei, o Artigo 3º exclui a possibilidade de candidatura e/ou acesso a fundos comunitários, com excepção dos que se destinem ao cumprimento dessas mesmas obrigações.

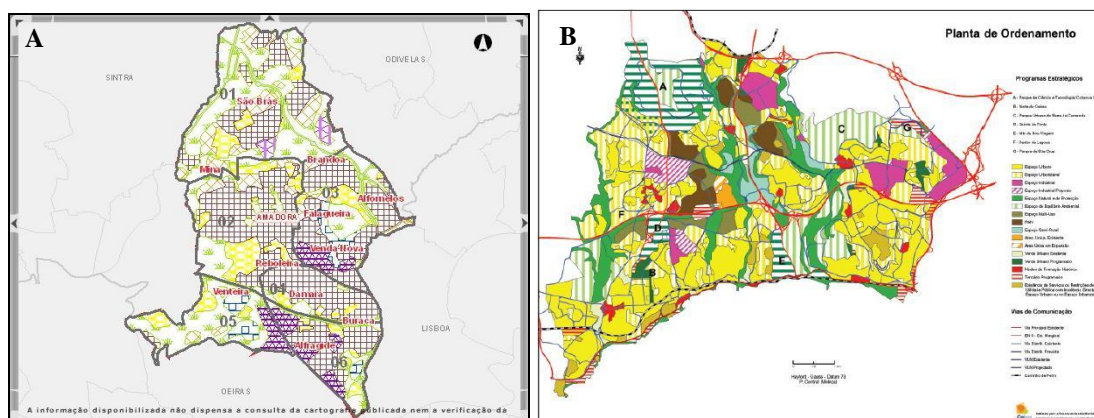


Figura 3 – A: Planta de Ordenamento Amadora; B: Planta de Ordenamento Oeiras, disponível on-line no site da autarquia.
Fonte: A: cm-amadora; B: cm-oeiras

A Lei n.º 56/2007 veio especificar claramente as premissas definidas no Decreto-Lei n.º 380/99 sobre o direito à informação e reveste-se de grande importância para a disponibilização universal de informação pois “*ter um SIG na “ponta dos dedos”, via internet, para poder traçar ou sobrepor mapas, visualizar e inquirir as plantas de ordenamento, personalizar as pesquisas de informação geográfica, reforça as possibilidades de participação pública nas decisões que transformam o território, promove a evolução da sociedade de informação, e de e-cidadania municipal*” (TENEDÓRIO *et al.*, 2003:218).

O Decreto-Lei n.º 316/2007 de 19 de Setembro concretiza uma das medidas previstas no Programa de Simplificação Legislativa e Administrativa - SIMPLEX, tendo como principal objectivo o *“reforço da eficiência dos processos de ordenamento do território e, por isso, da operatividade do sistema de gestão territorial”* (Preâmbulo DL n.º 316/2007). O diploma procede à quinta alteração ao Decreto-Lei n.º 380/99, e estabelece o depósito dos instrumentos de gestão territorial na Direcção Geral de Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU), passando esta a desempenhar a função de *“repositório centralizado e de publicitação de todos os instrumentos de gestão territorial, cujo acesso e consulta pública se pretende garantir em breve, por meio da disponibilização online no âmbito do Sistema Nacional de Informação Territorial”* (ver Capítulo II. 2.2.1.2.). Com este diploma surge então pela primeira vez a noção de um sistema nacional que disponibiliza em formato digital e online informação geográfica referente aos IGT ao público em geral. De facto, com a entrada em funcionamento do Sistema Nacional de Informação Territorial (SNIT), em Janeiro de 2008, concretizou-se um dever do Estado que se encontra previsto desde 1998 com a Lei de Bases do Ordenamento do Território, essencial para o bom funcionamento do sistema de gestão territorial e para o exercício do direito de acesso dos cidadãos à informação sobre o território nacional.

Com efeito todos os interessados têm direito a ser informados sobre a elaboração, aprovação, acompanhamento, execução e avaliação dos instrumentos de gestão territorial, tendo as entidades responsáveis que criar e manter actualizado um sistema que assegure o direito à informação, designadamente através do recurso a meios informáticos (Artigo 5.º). O Decreto-Lei n.º 316/2007 obriga ainda a que os planos municipais de ordenamento do território vigentes sejam disponibilizados, com carácter de permanência e na versão actualizada, no sítio electrónico do município a que respeitam.

Em Maio de 2009 foram aprovados dois diplomas referentes a cartografia que consta nos IGT, e classificação e reclassificação do solo, com vista a colmatar algumas lacunas deixadas pelo Decreto-Lei n.º 316/2007. Com efeito o Decreto-Regulamentar n.º 10/2009 de 29 de Maio fixa a cartografia a utilizar nos IGT, bem como na representação de condicionantes. Estabelece que alguns conceitos e princípios fundamentais, tais como:

- Cartografia de referência é obrigatoriamente: cartografia topográfica, cartografia temática de base topográfica ou hidrográfica oficial, ou cartografia homologada nos termos da legislação em vigor. A cartografia a utilizar para os limites administrativos é a da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) publicada pelo Instituto Geográfico Português (IGP). As listas da cartografia oficial ou homologada são publicadas nas páginas da Internet dos organismos responsáveis pela sua produção ou homologação;
- A elaboração das peças gráficas que integram os instrumentos de gestão territorial é feita em suporte digital e formato vectorial.
- A informação gráfica e alfanumérica deve ser estruturada em sistema de informação geográfica.
- As peças gráficas que integram os instrumentos de gestão territorial devem ser georreferenciadas no sistema de referência oficial em vigor
- A DGOTDU publica as normas técnicas sobre a estruturação em SIG da informação que integra os IGT, bem como sobre a simbologia e as convenções gráficas a utilizar na representação do conteúdo regulamentar dos IGT.

O segundo diploma da mesma data é o Decreto-Regulamentar n.º 11/2009 que estabelece os critérios de classificação e reclassificação do solo, bem como os critérios e categorias de qualificação do solo rural e urbano, definidos na Lei n.º 48/98.

II. 2. 2. Legislação de regulação da produção de cartografia

II. 2. 2. 1. Legislação a nível nacional

II. 2. 2. 1. 1. Sistema Nacional de Informação Geográfica

Em Portugal, através do despacho n.º 33/SEIC/86 foi criado um grupo de trabalho, coordenado pelo Eng.º Rui Gonçalves Henriques, para ser implementado um Sistema Nacional de Informação Geográfica. Mais tarde, com o Decreto-Lei n.º 53/90 de 13 de Fevereiro o Governo reúne as condições para criar um sistema integrado de informação geográfica de âmbito nacional (Sistema Nacional de Informação Geográfica – SNIG), infra-estrutura de dados espaciais pioneira no mundo inteiro.

Com o SNIG criou-se um sistema informatizado, ao qual as entidades produtoras e utilizadoras de informação geográfica têm acesso, que integra vários tipos de cartografia de base e temática com informação alfanumérica de natureza estatística sobre domínios do objecto em estudo, entre os quais características intrínsecas ao próprio objecto, como respeitantes ao autor da informação assegurando por isso os direitos de autor e imperativos de segurança de cada organismo. A existência de informação geográfica integrada e organizada em suporte informático permitirá não só a manipulação e tratamento da informação disponível, como também a criação de nova informação por diferentes utilizadores.

Com a fusão do CNIG⁵ e do IPCC⁶ em 2002 é criado o Instituto Geográfico Português (IGP) pelo Decreto-Lei 8/2002 de 9 de Janeiro, sucedendo em funções os organismos extintos. A fusão destes resulta da necessidade de racionalização de meios, de rentabilização de recursos e aumento da eficácia. O IGP passa a ter competências de: autoridade nacional para a informação geográfica; produção de cartografia topográfica de interesse nacional e regional bem como do cadastro predial; regulação do mercado privado de informação geográfica, no que respeita a normas e especificações técnicas de produção e reprodução de IG e homologação de produtos; formação e investigação no domínio das TIG; desenvolvimento e coordenação do SNIG; dinamização da sociedade da informação.

Em 2007, com a entrada em vigor da directiva INSPIRE (Infra-estrutura para a Informação Espacial Europeia) o IGP promoveu a reformulação do SNIG, de forma a este estar em conformidade com os princípios normativos estabelecidos pelo INSPIRE. A directiva visa desfragmentar o conjunto de dados e fontes de informação geográfica e combater as lacunas existentes ao nível da sua disponibilização, facilitando o acesso aos dados harmonizados. O IGP enquanto autoridade nacional para a informação geográfica, responsável pela implementação da directiva criou, em 2007, a Rede

⁵ Centro Nacional de Informação Geográfica. Tem o papel de desenvolver e coordenar o SNIG, definir e manter actualizados os princípios gerais do SNIG, desenvolver estudos que assegurem a actualização permanente de dados do Sistema, e apoiar a criação de entidades a nível regional e local que contribuam para o desenvolvimento integrado do Sistema

⁶ Instituto Português de Cartografia e Cadastro, criado em 1994, herda competências anteriormente atribuídas ao Instituto Geográfico e Cadastral (IGC), criado em 1926 e extinto em 1994. O Decreto-Lei n.º 74/94 de 5 de Março define as atribuições e competências do IPCC como: o estudo, desenvolvimento e execução de actividades nos domínios da cartografia e do cadastro predial, rústico e urbano, bem como da geodesia. O licenciamento e fiscalização de actividades de cartografia ou de cadastro são também competências do IPCC.

INSPIRE⁷ e um grupo de trabalho para coordenar as acções a empreender. Através do SNIG, base primordial para a implementação da referida directiva, pretende-se implementar as seguintes diligências: serviço de catálogo de metadados de conjunto de dados, aplicações e serviços de acordo com a norma ISO 19139⁸, serviço de rede, e espaço de interacção na comunidade geográfica.

Uma das mais significativas inovações que estas diligências introduziram foi a disponibilização do editor do MIG (Metadados de Informação Geográfica), uma ferramenta para criação e publicação de metadados, que permite a qualquer produtor documentar os seus dados e publicá-los no portal que, em três anos, recolheu mais de dez mil fichas.

Além disso, o SNIG oferece também um catálogo de informação geográfica, ferramentas que possibilitam a sua visualização, aplicações como o MIG e os mapas online e um fórum destinado à geocomunidade registada no site⁹.

II. 2. 2. 1. 2. Sistema Nacional de Informação Territorial

Com a entrada em funcionamento do SNIT, em Janeiro de 2008, concretizou-se um dever do Estado que se encontra previsto na LBOTDU (Lei 48/98), desde 1998, e que é essencial para o bom funcionamento do sistema de gestão territorial e para o exercício do direito de acesso dos cidadãos à informação sobre o território nacional e seu estado de ordenamento. O SNIT é um sistema de informação oficial de âmbito nacional, produzido e gerido pela DGOTDU, partilhado pelas entidades públicas com responsabilidade na gestão territorial, com a finalidade de acompanhar e avaliar a política de ordenamento do território e urbanismo e de informação sobre o território e o estado do seu ordenamento. O SNIT é também um instrumento de trabalho da DGOTDU no cumprimento da sua missão de autoridade nacional de ordenamento do

⁷ Rede de pontos focais que pretende promover a troca de informação e experiências com o objectivo de servir de suporte à implementação da directiva

⁸ Respeitante a *Geographic information - Metadata - XML schema implementation*

⁹ Um exemplo é o serviço m@pas online. O IGP disponibiliza ao público uma panóplia de serviços de informação geográfica, tendo em conta as normas estabelecidas pelo *Open Geospatial Consortium*, serviços de *Web Map Service* (WMS) e *Web Feature Service* (WFS).

território e de urbanismo, incentivando a modernização dos processos e métodos de trabalho e melhorando a eficiência do seu funcionamento.

O SNIT suporta a prestação de serviço público e visa três objectivos principais:

- a) Assegurar o direito de informação e o direito de acesso dos cidadãos aos instrumentos de gestão territorial e à informação sobre a sua aplicação;
- b) Ser um sistema colaborativo, partilhado em rede entre as entidades responsáveis pela gestão territorial, ajudando a concretizar melhor o dever de coordenação interna e externa consagrado no Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT) e agilizando os fluxos de informação e os processos de decisão, com reflexos na qualidade dos serviços prestados e na eficácia do sistema de gestão territorial;
- c) Suportar e incentivar a reorganização interna dos processos e métodos de trabalho da DGOTDU melhorando a eficiência do seu funcionamento.

Com a implementação do SNIT cumprem-se os objectivos de Modernização Administrativa e do Governo Electrónico no sentido da simplificação, da eficiência e da transparência da acção do Estado na disponibilização pública de serviços fundamentais para os cidadãos, contemplados no SIMPLEX.

II. 2. 2. 1. 3. Normas para produção de cartografia

A produção de cartografia é indispensável à prossecução dos objectivos do ordenamento do território, sendo a cobertura cartográfica do país fundamental. No entanto, a produção de cartografia necessita de normas estipuladas para a homogeneização de conceitos, critérios e regras. Estas normas são traduzidas no Decreto-Lei 193/95 de 28 de Julho, que estabelece os princípios a que a produção de cartografia oficial deve obedecer. O diploma define como entidade competente para a cartografia topográfica oficial o IPCC e para a cartografia hidrográfica oficial o Instituto Hidrográfico. É de referir que apesar de estas serem as entidades competentes, qualquer entidade pode produzir cartografia desde que esteja habilitada por lei ou alvará para tal, ficando assim aberto um vasto campo de acção para o sector privado. Prevê-se também

a possibilidade de prestação de serviços aos organismos públicos responsáveis pela produção de cartografia, através de concurso público.

No diploma é estipulada a necessidade de produção e actualização constante da cartografia de base por parte das entidades competentes, sendo que a cartografia temática só é assegurada caso exista interesse público que a justifique. A cartografia oficial consta de listagens aprovadas pelo Ministro do Planeamento e da Administração do Território e publicadas no Diário da República. As entidades públicas podem utilizar cartografia oficial desde que disponível.

Em 2007, o Decreto-Lei n.º 202/2007 de 25 de Maio vem alterar pela 3ª vez o Decreto-Lei 193/95. No seguimento da implementação do programa SIMPLEX (para a simplificação administrativa e legislativa) introduz-se a noção de simplificação do regime jurídico da produção nacional de cartografia, facilitando a actividade aos agentes privados, através de uma declaração prévia do exercício de actividade sujeita a posterior homologação pelas entidades públicas competentes. Este diploma vai no sentido das *“disposições comunitárias em matéria de liberdade de estabelecimento e livre circulação de serviços na União Europeia”* (Preâmbulo).

II. 3. Levantamento das necessidades municipais em informação geográfica

A necessidade de informação sobre o território é fulcral na maioria das acções das autoridades municipais. Importa no âmbito da presente dissertação conhecer estas necessidades de forma a que a metodologia desenvolvida de extracção automática de informação geográfica (Capítulo IV) tenha em conta as características e requisitos da informação pretendida pelos municípios. Para tal é realizada uma entrevista a três autarquias seleccionadas. O primeiro passo tomado para a elaboração da entrevista é a definição dos objectivos da pesquisa pois *“é impossível elaborar a concepção geral do estudo sem se determinarem com precisão os fins variados, o campo de problemas abrangidos, os resultados que se pretendem obter”* (PIRES DE LIMA, 2000:23).

Assim sendo o objectivo da entrevista consiste no levantamento das necessidades das autarquias em termos de informação geográfica. A identificação de informação geográfica útil ao nível de tomada de decisões por parte das autarquias, a partir da elaboração e tratamento de entrevistas a departamentos que utilizem

informação espacial, constitui um dos objectivos da dissertação. Para tal definiu-se a amostra do estudo. Visto não ser exequível no âmbito desta dissertação a aplicação da entrevista a todas as autarquias da Área Metropolitana de Lisboa (AML) seleccionaram-se três autarquias, com as quais existem contactos estabelecidos: Câmara Municipal de Lisboa (CML), Câmara Municipal da Amadora (CMA) e Câmara Municipal de Oeiras (CMO), tornando assim mais expedita a aplicação da entrevista. A entrevista foi feita a técnicos das autarquias mencionadas.

A elaboração da entrevista reveste-se de grande importância pois os resultados obtidos vão permitir relacionar a importância que a informação geográfica tem: na tomada de decisões autárquicas com a legislação dos IGT de âmbito municipal, com o Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação, na monitorização de alterações em espaço urbano em tempo real, bem como o seu papel fundamental para o conhecimento sistemático do território.

Com os resultados obtidos na entrevista às autarquias seleccionadas pretende-se apoiar e fundamentar a selecção de elementos a extrair automaticamente no caso de estudo, contribuindo para o desenvolvimento de uma metodologia para a produção de informação geográfica actualizada com o intuito de alimentar as bases de dados municipais.

Antes da aplicação da entrevista à amostra é necessária uma fase preparatória das operações de lançamento da entrevista. Ao nível do projecto GeoSat existia já o esboço de um inquérito com o objectivo de aferir as necessidades municipais em termos de informação geográfica. Este esboço foi trabalhado e adaptado para os objectivos da presente dissertação resultando numa entrevista em que os temas debatidos se prendem com:

- a) Os temas de informação geográfica mais utilizados;
- b) A importância atribuída à informação geográfica;
- c) A adequação das características da informação geográfica utilizada às necessidades existentes;
- d) A facilidade de integração de imagens de satélite no fluxograma metodológico de produção/actualização de cartografia municipal.

Devido a ser uma entrevista estruturada¹⁰ foi possível uma maior interacção com os entrevistados dando resultado a respostas desenvolvidas e ilustradas, em alguns casos, com exemplos concretos da experiência da autarquia em matéria de informação geográfica e sua utilização na gestão municipal.

No que concerne aos resultados, as respostas obtidas foram, para cada questão debatida:

a) Os temas de informação geográfica mais utilizados:

- As três autarquias referem que os temas mais utilizados são: o edificado e a rede viária. Indicaram ainda que a actualização destes temas é diária.

b) A importância atribuída à informação geográfica:

- As três autarquias consideram a utilização de informação geográfica fundamental.
- A CML indica como principal utilização de informação geográfica a produção cartográfica e temática, visualização, análise em SIG, apresentação/tomada de decisão, produção de aplicações *Web* internas e externas.
- A CMO considera a informação geográfica útil ao exercício das competências do gabinete em campos como o SIG/Planeamento, Ambiente (na produção do Mapa do Ruído), e mais especificamente actualmente na revisão da Agenda 21, na monitorização do PDM e outros IGT, bem como na produção/actualização da Carta Social e Educativa.

c) A adequação das características da informação geográfica utilizada face às necessidades existentes:

- A CML considera as características da informação geográfica utilizada adequadas. Contudo, não deixa de ser necessário trabalho de campo de levantamento topográfico para actualização da mesma.
- A CMA considera a informação geográfica utilizada nos serviços muito adequada.

¹⁰ As perguntas estão claramente definidas e são as mesmas para cada entrevistado.

- A CMO aponta a desadequação da informação geográfica utilizada, existindo necessidade de trabalhar a mesma para estar de acordo com as necessidades dos serviços. Este caso pode explicar-se pela dimensão do município de Oeiras, que devido a constituir um município de pequenas dimensões é justificável uma adaptação das características da informação geográfica às características do mesmo (e.g. escala).
- d) A facilidade de integração de imagens de satélite no *workflow* de produção/actualização de cartografia municipal:
- A CML considera esta integração muito fácil tendo já a decorrer um projecto em parceria com a Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa (FCSH-UNL) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) – GeoSat – para desenvolver uma metodologia que permita uma actualização da informação geográfica de forma expedita para alimentar a base de dados geográficos municipal em tempo útil.
 - A CMA considera que a integração de imagens de satélite nos serviços depende das características das mesmas, principalmente da falta ou não de georreferenciação.
 - Para a CMO o caso não se aplica devido a não considerar existir utilidade na escala das imagens de satélite, devido à pequena dimensão do concelho.

➤ **Análise de resultados face à legislação**

Sendo recorrente o facto de em todas as autarquias os temas edificado e rede viária serem utilizados com maior frequência parte de razões várias que importam analisar. Em primeira instância estes temas correspondem a informação geográfica de base constante em diversos elementos constituintes dos PMOT, como por exemplo na planta de implantação, de zonamento e de localização. Com a obrigatoriedade de disponibilização com carácter permanente e actualizado dos PMOT no sítio electrónico do município, definida pelo Decreto-Lei n.º 316/2007, aliada ao disposto no Decreto-Regulamentar n.º 10/2009 de 29 de Maio que regula a cartografia a utilizar nos IGT, passa a haver um maior controlo da qualidade da informação geográfica nomeadamente no que toca aos parâmetros definidos para a elaboração das peças gráficas, bem como

no que respeita à exactidão posicional e escala inerentes à carta base quando transposta para suporte analógico.

Para além deste facto a Portaria 232/2008 de 11 de Março¹¹ procede à enunciação de todos os elementos que devem instruir os pedidos de urbanização e edificação, entre eles o extracto das plantas de ordenamento, de zonamento e de implantação dos planos municipais vigentes, das respectivas plantas de condicionantes, da planta de síntese do loteamento, planta de localização e enquadramento, planta de implantação, entre outros. Torna-se então premente que quando exista um pedido de informação prévia, licenciamento ou autorização referente a várias operações urbanísticas¹², este seja necessariamente acompanhado dos elementos gráficos estipulados na lei. Tome-se como exemplo o excerto da planta de localização de Lisboa na Figura 4. Esta é composta por edifícios, vias e espaços verdes representando um esquema do desenho urbano bem como um levantamento da situação existente a partir de informação geográfica, servindo de base a uma avaliação para informar a possibilidade de realização de operações urbanísticas em determinado lote.



Figura 4 – Excerto da Planta de Localização de Lisboa Online
Fonte: cm-lisboa

A premissa introduzida pelo Decreto-Lei n.º 316/2007 de disponibilização com carácter permanente e actualizado dos PMOT no sítio electrónico do município corrobora e enfatiza a importância que a informação geográfica tem para a gestão autárquica. Se por um lado o papel da informação geográfica como suporte à tomada de decisão é fundamental pela ilustração e percepção que fornece da realidade, com a

¹¹ Regulamentada pela Lei n.º 60/2007 de 4 de Setembro, que procede à sexta alteração ao Decreto-Lei n.º 555/99 de 16 de Dezembro, que estabelece o regime jurídico da urbanização e edificação.

¹² Loteamento, urbanização, edificação, outras operações urbanísticas, demolição, utilização.

obrigatoriedade de disponibilização no sítio electrónico municipal da mesma todas as autarquias passam a preencher os requisitos estipulados pelo Decreto-Regulamentar n.º 10/2009 de 29 de Maio, conduzindo a um melhor funcionamento dos pressupostos estipulados no SIMPLEX, tal como o reforço da eficiência dos processos de ordenamento do território e a operatividade do sistema de gestão territorial.

A elaboração das peças gráficas que integram os IGT em suporte digital, estruturada em SIG, contribui para uma maior celeridade na aquisição, manipulação e consulta de informação quer por parte dos técnicos dos serviços municipais quer do cidadão, aumentando assim eficiência no desempenho de funções autárquicas.

A obrigatoriedade de constituição de um SIG municipal aliado às normas técnicas sobre a estruturação do mesmo, publicadas pela DGOTDU, vai nivelar a disponibilização de informação geográfica nas diferentes autarquias. Se anteriormente à publicação do Decreto-Lei n.º 316/2007 uma autarquia poderia ou não dispor de um SIG para apoiar as funções municipais, após a entrada em vigor do diploma as entidades responsáveis pela elaboração e pelo registo dos IGT têm de criar e manter actualizado um sistema que assegure o exercício do direito à informação, contribuindo para uma homogeneização da disponibilização de informação geográfica por parte de diferentes autarquias a nível nacional. Coincidentes com a reformulação do SNIG promovida pelo IGP em 2007, as medidas adoptadas pelo Decreto-Lei levam a uma maior prossecução dos princípios estipulados na directiva INSPIRE, caminhando para uma sociedade global da informação.

Torna-se por isso óbvia a importância fundamental atribuída pelas autarquias entrevistadas à informação geográfica. Esta justifica-se maioritariamente com o contributo que a informação geográfica e os SIG prestam na gestão municipal e no planeamento territorial, mas também com a contribuição para o seguimento dos princípios dispostos na legislação referente aos IGT e à produção de cartografia.

No que concerne à avaliação da adequação das características da informação geográfica utilizada face às necessidades existentes nos serviços municipais não existe uma relação directa com a legislação vigente, sendo que apenas se pode considerar o processo de aquisição e produção cartográfica adoptado pelo serviço autárquico como inadequado ou pouco eficaz. A metodologia seguida para produção e aquisição de cartografia varia consoante a autarquia daí não ser passível de comparações. Contudo

regra geral a desadequação da informação geográfica está, no caso das autarquias entrevistadas, relacionada com a escala e periodicidade de actualização da mesma.

Em relação à facilidade de integração de imagens de satélite no *workflow* dos serviços autárquicos excluindo a CML, que está a desenvolver uma metodologia para a sua utilização, não existem ainda metodologias para incorporação das imagens de satélite para produção cartográfica por parte das restantes autarquias. Este facto explica-se pela falta de obrigatoriedade de inclusão das mesmas no processo por parte da legislação. De facto, fazendo uma análise à legislação dos IGT verifica-se que não existem referências a imagens de satélite. Pode-se concluir que é necessário desenvolver trabalho no sentido de demonstrar qual o contributo que as imagens de satélite podem desempenhar na produção/actualização de cartografia nos serviços municipais e por conseguinte para a gestão autárquica. De realçar que, apesar de as câmaras municipais entrevistadas utilizarem ortofotomapas/fotografias aéreas na produção de cartografia municipal, isto é, existe a utilização imagens, o sensor é que é diferente, sendo que integração de imagens de satélite (e.g. de alta resolução) constitui ainda um campo a desenvolver.

II. 4. Síntese sobre a utilidade da informação geográfica como suporte ao ordenamento do território à escala municipal

Os modelos de gestão municipal e a legislação dos IGT actualmente exigem sistemas de suporte à decisão que permitam um conhecimento do território, e que esta informação seja partilhada por toda a autarquia. Assim será possível realizar uma gestão racional dos recursos do território de forma sustentável e com pleno conhecimento da realidade municipal. Para tal os SIG são uma ferramenta de excelência, permitindo disponibilizar a informação a quem dela necessite. De assinalar também que as autarquias são um potencial utilizador dos SIG, na realidade, numa autarquia podem-se assinalar pelo menos três departamentos em que a informação geográfica possui um papel preponderante:

- Os departamentos técnicos requerem a produção de mapas técnicos de grande pormenor e precisão, para tal necessitam de informação geográfica adequada e actual;

- Nos departamentos ligados à gestão da informação é processada para apoiar a tomada de decisões. Neste âmbito a informação geográfica é integrada com informação alfanumérica, sendo trabalhada especificamente em cadastro urbano, censos populacionais, imobiliário, etc.

- Os departamentos de planeamento que lidam com tomadas de decisões estratégicas, para além de criarem informação geográfica também a utilizam sob a forma final de mapas como: planos de zonamento, ambientais, tráfego, cartas de condicionantes, de ordenamento, de localização, etc.

Há que definir o conceito de utilidade da informação geográfica. No caso, considera-se útil a informação que permita a:

- Optimização de recursos – introduzindo qualidade no desempenho funcional pela rapidez, precisão e o menor consumo de recursos na execução de tarefas, levando a um aumento do rigor, produtividade, eficiência e por conseguinte a um aumento da qualidade de resultados;
- Agilização de processos – através da integração, análise e visualização de informação, tornando a tomada de decisões mais eficiente;

Ao longo do presente capítulo foi demonstrada a utilidade que a informação geográfica possui ao nível municipal, corroborando os critérios tomados em conta. Um dos factores que determina a utilidade da informação geográfica como suporte ao ordenamento do território à escala municipal, é a própria prossecução dos objectivos e princípios dispostos na legislação dos IGT e de regulação da produção de cartografia. De facto, com a obrigação da estruturação da informação geográfica em SIG e da disponibilização dos elementos constituintes dos PMOT na *internet*, intensifica-se a necessidade de produção e actualização de informação geográfica ao nível municipal.

É também verdade que o recurso à informação geográfica e às metodologias de análise espacial permite melhor compreender e explorar as relações existentes entre os vários factores que moldam os territórios. A informação geográfica (se adequada e actual) e os SIG proporcionam uma percepção mais rigorosa da realidade, viabilizando tomadas de decisão em tempo útil. Para além de possibilitarem este conhecimento sistemático do território permitem consequentemente a monitorização de alterações em solo urbano, o que em municípios de grande dinâmica (e.g. Lisboa) permite uma

optimização de recursos e agilização de processos. No caso, as alterações urbanas são do ponto de vista temporal muito rápidas, decorrendo da evolução de, por exemplo, obras na rede viária, novos projectos de loteamento, alteração de classes e uso do solo urbano, novos arruamentos, etc., sendo necessário existir um forte controlo e conhecimento das mesmas¹³. Deste modo, a obtenção de cartografia digital expedita a escalas compatíveis com as exigências das autarquias e com a própria lei, é um requisito necessário. No capítulo seguinte será discutido o valor da integração de imagens de satélite de alta resolução na produção de informação geográfica municipal e consequentemente de cartografia digital adequada às exigências autárquicas.

¹³ Um exemplo concreto do contributo que a informação geográfica pode desempenhar no conhecimento do território municipal e consequentemente na monitorização de alterações é o SMAS – o cadastro das redes de água e saneamento – que dispõe de ferramentas que têm capacidade para armazenar simultaneamente informação alfanumérica e cartográfica, e de a relacionar, permitindo a sua visualização integrada. Esta tecnologia permite a execução de análises espaciais e, através de ligações com outros sistemas de informação trabalhar dados em conjunto para elaborar relatórios que originem uma tomada decisão rápida nas actividades de exploração, planeamento, renovação e ampliação das redes.

CAPÍTULO III: VALOR DA INTEGRAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO NA PRODUÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA MUNICIPAL

III. 1. As imagens de satélite de alta resolução espacial

A utilização de informação geográfica ao nível municipal e a subsequente produção de cartografia possui, tal como demonstrado no Capítulo II, importância para o ordenamento e planeamento do território. Neste sentido, a utilização de dados obtidos por sensores de Detecção Remota (e.g. imagens de satélite) para a produção de cartografia é essencial, uma vez que é através destes que se torna possível diferenciar diferentes tipos de cobertos de solo. Deste modo a Detecção Remota disponibiliza um conjunto de métodos e técnicas para determinar as características físicas e biológicas de objectos por intermédio de medida (quantidade energética que é reflectida ou emitida por cada corpo), sem contacto material com os objectos em questão.

A quantidade energética que é reflectida ou emitida por um corpo, designada por Radiação Electromagnética (ver Anexo II), é transmitida de um ponto para o outro sob a forma de ondas. Segundo LILLESAND *et al.* (2004:4) a propagação da energia electromagnética está de acordo com a Teoria Básica das Ondas, onde se descreve que uma onda electromagnética é representada por dois vectores perpendiculares indissociáveis (campo eléctrico e campo magnético), variando periodicamente a amplitude com o tempo. A radiação electromagnética (REM) é caracterizada por um período, uma frequência¹⁴, uma velocidade de propagação, um comprimento de onda¹⁵, uma amplitude. A informação é transmitida para a Terra, onde é processada e armazenada.

Fenómenos transitórios, como o vigor vegetativo sazonal e descargas de contaminantes, podem ser estudados através da comparação de imagens adquiridas em momentos diferentes. As imagens de satélite registam digitalmente a REM em diferentes janelas/bandas espectrais de acordo com as suas características técnicas:

¹⁴ Número de ciclos por segundo que uma onda descreve passando por um ponto fixo.

¹⁵ Distância percorrida pela onda à velocidade (v) durante um período (t).

resolução espacial¹⁶, radiométrica¹⁷, espectral¹⁸ e temporal¹⁹. Diferentes sensores registam diferentes segmentos, ou bandas, do espectro electromagnético. As zonas do espectro que têm sido mais utilizadas para medir a reflectância espectral são: o visível²⁰, o infravermelho próximo e o infravermelho médio.

Até recentemente, os métodos tradicionais de produção de cartografia a grande escala utilizavam fotografias aéreas como base devido à sua grande resolução espacial bem como à utilização da visão estereoscópica para auxiliar a interpretação visual da imagem. Esta abordagem tem sido bem sucedida, produzindo variadíssimos estudos, possui alguns aspectos problemáticos e dispendiosos, tal como, segundo os autores VANDERZANDEN e MORRISON (2003), a aquisição de fotografias aéreas pode ser difícil, devido a condições climatéricas inconstantes da área de estudo pretendida.

Com a divulgação de imagens dos satélites civis a partir dos anos 70, passaram a estar disponíveis a diferentes escalas de análise a resposta espectral dos materiais da superfície terrestre. Aumentou também a frequência temporal de aquisição de informação. De facto desde o lançamento do primeiro satélite de observação terrestre, o ERTS-1²¹, em 1972, tem-se assistido a um número crescente de lançamentos de satélites de observação da Terra que permitem adquirir imagens com características técnicas muito diferentes, estando disponível uma grande diversidade de imagens para produção cartográfica. Com efeito, a diversidade de aplicações da cartografia de ocupação e uso do solo faz com que seja necessária a sua produção com especificações técnicas distintas. Neste sentido, e uma vez que as imagens de satélite²² têm tido grande utilização para produção cartográfica, as suas características técnicas são determinantes para a definição das especificações dos mapas que geram.

¹⁶ Define-se pela dimensão linear da unidade elementar da imagem, isto é consiste na dimensão do pixel. Refere-se ao tamanho da área no terreno que é representada por cada valor de dados nas imagens. Trata-se do campo de visão instantâneo (IFOV - *instantaneous field of view*).

¹⁷ Corresponde ao número de níveis digitais em que uma imagem é registada, refere-se à sensibilidade do sensor à radiação recebida.

¹⁸ Refere-se ao número e à largura das bandas espectrais que o sensor do satélite detecta. Pode ser definida como os limites do comprimento de onda que podem ser detectados pelo espectro.

¹⁹ Define-se pelo intervalo de tempo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto.

²⁰ Inclui o azul, verde e vermelho.

²¹ *Earth Resources Technology Satellites*, mais tarde renomeado Landsat-1, com 80m de resolução espacial.

²² Disponibilizadas em formato digital, encontram-se estruturadas em matrizes regulares, em que cada pixel corresponde a uma área do terreno, e possui um nível digital (ND) correspondente à quantidade de energia reflectida pelos corpos em diferentes gamas do espectro electromagnético.

Podemos afirmar que conforme o nível de análise aumenta as especificações técnicas (por exemplo a resolução espacial) das imagens utilizadas aumentam também. Com efeito o aumento da resolução espacial requer maior capacidade de armazenar informação bem como profissionais mais especializados para proceder à análise da informação. Por esta razão é importante determinar a resolução mínima necessária ao cumprimento do objectivo do estudo, prevenindo o processamento de informação desnecessária.

LILLESAND *et al.* (2004) definem os dados a utilizar, de acordo com a resolução espacial das imagens e em função da nomenclatura de uso e ocupação do solo da USGS²³, para produção de mapas de ocupação e uso do solo a partir de interpretação de imagens de satélite, visível na Tabela 1. Apesar de os critérios terem sido estipulados numa época em que a utilização de imagens de satélite e processamento digital de imagem não se encontrava tão acessível como actualmente, é interessante verificar que eram já tomadas em consideração as características técnicas das imagens aquando da sua selecção para a análise de diferentes fenómenos ou distribuições. De facto, verifica-se que a resolução espacial das imagens requeridas aumenta em função do detalhe da análise pretendida.

Actualmente, ao nível municipal, uma das características técnicas das imagens de satélite necessárias à extracção de informação geográfica é a grande resolução espacial, pois no contexto urbano o nível de resolução espacial destas imagens corresponde às escalas de análise entre 1:5 000 e 1:25 000 (GONÇALVES *et al.*, 2001, GONÇALVES e CAETANO, 2004).

Nível	Designação	Tipo de dados para interpretação de imagem
I	Urbano ou construído	Imagens de satélite de baixa ou moderada resolução (e.g. SPOT)
II	Residencial Comercial e serviços Industrial Transportes	Fotografias aéreas de baixa resolução; imagens de satélite de média resolução
III	Habitação unifamiliar Habitação plurifamiliar Quarteirões Hotéis	Fotografias aéreas de média resolução; imagens de satélite de alta resolução
IV	A definir pelos utilizadores locais de acordo com as necessidades	Fotografia aérea de grande resolução; imagens de satélite de alta resolução

Tabela 1 – Tipos de dados para a interpretação de imagem por nível hierárquico de nomenclatura do USGS

Fonte: Adaptado de LILLESAND *et al.* (2004)

²³ Land Use and Land Cover Classification

Desde o início do século XXI, e com o lançamento de satélites com sensores ópticos que recolhem imagens de alta resolução espacial da superfície terrestre, surge uma nova fonte de dados disponível para a análise à escala municipal. No início do século encontravam-se em órbita cerca de 31 satélites que forneciam imagens com uma resolução que variava entre 1 e 30 metros. Actualmente existem vários satélites de muito alta resolução (Tabela 2) com resoluções superiores a 5m, entre eles o satélite QuickBird que disponibiliza imagens com uma resolução de 0,61m (pancromático), que serão utilizadas no Capítulo V.

Satélite	Resolução espacial (m)	Resolução espectral (bandas)	Resolução temporal (dias)	Resolução radiométrica (bits)
GeoEye-1	0.41 1.65	Pancromática Multiespectral	2 – 8	
Worldview-2	0.46 1.8	Pancromática 8 Multiespectral	1.1 – 3.7	11
Worldview-1	0.5	Pancromática	1.7 – 5.4	11
QuickBird-2	0.61 2.44	Pancromática 4 Multiespectral	1 – 3.5	11
EROS-B	0.7	Pancromática	3	10
IKONOS	1 4	Pancromática 4 Multiespectral	1 – 3	11
Orbview-3	1 4	Pancromática 4 Multiespectral	3	
KOMPSAT-2	1 4	Pancromática 4 Multiespectral	5	16
Formosat-2	2 8	Pancromática 4 Multiespectral	1	8
Cartosat-1	2.5	Pancromática	5	10
ALOS	2.5 10	Pancromática 4 Multiespectral	2	
SPOT-5	2.5 10	Pancromática 4 Multiespectral	2 – 3	8
CBERS-3 e 4	5	4 Multiespectral	26	10

Tabela 2 – Características de alguns satélites de observação terrestres

Em fase de desenvolvimento encontra-se o satélite GeoEye-2, cujo lançamento está previsto para 2011, com capacidade para adquirir imagens da superfície terrestre com resolução espacial de 0,25m, pressupondo uma melhoria significativa das capacidades do GeoEye-1²⁴.

III. 2. Os processos de produção operacionais a partir de imagens de satélite: análise visual de imagem e processamento digital de imagem

Com a disponibilização de imagens de satélite de alta resolução passam a estar disponíveis novas características que possibilitaram, aliadas ao desenvolvimento tecnológico, o despontar da investigação sobre a automatização dos processos de cartografia de ocupação e uso do solo. Os processos metodológicos clássicos e operacionais de produção cartográfica deste tipo, a partir de imagens de satélite, compreendem vários passos podendo ser descritos de forma distinta. De acordo com LILLESAND *et al.* (2004) existem sete passos para o processamento de uma imagem, que compreendem:

1. Pré-processamento – tem como objectivo corrigir a distorção e degradação dos dados, correspondendo tipicamente à geo-referenciação das imagens e redução das distorções radiométricas e geométricas existentes.
2. Melhoria das condições de visualização – este processo pretende criar uma imagem transformada a partir da original, com o intuito de aumentar o volume de informação que pode ser visualmente interpretada e melhorar a extracção de informação. Compreende várias operações tais como: a transformação de bandas ou melhoramento de contraste *stretching*, filtros espaciais, análise de componentes principais, índices de vegetação, *Intensity Hue Saturation* (IHS), entre outras.
3. Classificação de imagem – consiste na fase principal do processamento, recorrendo a técnicas como a análise visual e/ou o processamento digital das imagens.
4. Integração de informação auxiliar – consiste nos processos utilizados para integrar informação da imagem com outro tipo de informação geográfica

²⁴ Satélite comercial com maior resolução espacial no mercado.

referente à mesma área. Esta informação pode ser derivada de “*modelos digitais de terreno (e.g., altitude, declive, exposição) ou de dados estatísticos com representação geográfica (e.g., vento e insolação)*” (SANTOS, 2003:5).

5. Análise de imagens hiperespectrais – aplicação de técnicas específicas para analisar imagens hiperespectrais. Geralmente este tipo de imagens requerem maior atenção a correcções atmosféricas.
6. Modelação biofísica – tem por objectivo relacionar a informação digital quantitativa medida pelo sensor com as características biofísicas e fenómenos medidos no terreno.
7. Compressão de imagem – dado o grande volume da informação de sensores de detecção remota, um dos temas a aprofundar de futuro em investigação é precisamente a compressão destes mesmos dados, tornando a sua distribuição e disponibilização via *internet* mais fácil.

Segundo SANTOS (2003) o processo produção de cartografia de ocupação do solo a partir de imagens de satélite compreende cinco etapas: pré-processamento, transformação de bandas, extracção de informação temática, integração de informação auxiliar, e avaliação da qualidade dos mapas produzidos. De realçar que apenas a fase final difere entre os autores apresentados. A avaliação da qualidade dos dados produzidos, reveste-se de grande importância pois permite atribuir um índice de fiabilidade ao mapa final produzido. LILLESAND *et al.* (2004) propõem mesmo métodos de avaliação de qualidade, sendo um dos mais utilizados, o de comparação dos dados classificados com dados de referência, que traduzem a “verdade do terreno”, obtidos no terreno ou através de interpretação de fotografias aéreas de resolução superior (metodologia adoptada no capítulo V. 5).

No que concerne à fase de classificação de imagem interessa compreender as diferenças entre os procedimentos existentes na metodologia clássica de processamento de imagem bem como as suas vantagens e desvantagens.

Ao observar imagens de satélite podemos reconhecer vários objectos com diferentes tamanhos e formas, alguns identificáveis outros não (e.g. edifícios, árvores, vias). Quando os objectos são identificáveis com base nas variáveis visuais contidas na

imagem (forma, tamanho, textura, sombra, tom, localização e a resolução) é possível ao analista atribuir significado ao objecto, levando à transformação dos dados brutos da imagem em informação geográfica. A este processo atribui-se a designação de análise visual de imagem (AVI).

Neste tipo de processo, o conhecimento e experiência do analista *a priori* em interpretação de imagem e elaboração de mapas é essencial, bem como a “*background and contextual information relevant to the area of interest*” (BRENNAN e SOWMNYA, 1998). Por sua vez o processamento digital de imagem (PDI) tem como objectivo classificar os *pixels* da imagem automaticamente através de algoritmos, permitindo categorizá-los em classes de ocupação do solo. Este processo tem em conta, de acordo com o autor LILLESAND *et al.* (2004), o comportamento espectral dos *pixels*, o seu padrão espacial de distribuição, bem como o padrão temporal.

Existem duas abordagens em PDI: orientada a objecto e *pixel a pixel*. A primeira permite extrair da imagem a dimensão do objecto e seu significado. Assim sendo, a unidade mínima de análise é o objecto, sendo o pixel apenas utilizado para a construção desse mesmo objecto. Contrariamente aos processos tradicionais em que a extracção da informação é baseada no *pixel*, em análise orientada por objecto a classificação da imagem é realizada a partir de objectos imagem (adquiridos por segmentação da imagem), aproximando-se este processo do raciocínio humano (GONÇALVES e CAETANO, 2004).

Em oposição, a abordagem *pixel a pixel* consiste em agrupar *pixels* com comportamento espectral semelhante. A partir das classes espectrais criadas, o analista classifica os grupos de *pixels* de acordo com uma classe de uso do solo. Nesta temática de realçar o trabalho desenvolvido por ENCARNAÇÃO (2004) e GONÇALVES e CAETANO (2004).

Um *pixel* é utilizado como base numérica para a sua categorização, isto é, cada *pixel* possui um nível digital em diferentes comprimentos de onda que permite identificar e agrupar segundo grupos de *pixels*. Este procedimento é de extrema importância para o processamento digital de imagem, sendo que os resultados obtidos dependem da presença de diferentes objectos com assinaturas espectrais diferentes e da capacidade de os distinguir. Neste contexto, importa referir que existem dois tipos de

classificação: a supervisionada e a não supervisionada que se distinguem pelos procedimentos utilizados.

No que respeita à classificação não supervisionada, esta agrupa os dados em diferentes classes espectrais, consoante as suas respostas espectrais. Este agrupamento de *pixels* é também conhecido por agregação (*cluster*). Os agrupamentos de *pixels* não são categorizados em classes finais de ocupação do solo mas sim categorias espectrais, que necessitam de ser posteriormente reclassificadas em classes de informação.

Em relação à classificação supervisionada esta permite a identificação das informações acerca das diferentes classes, através da criação de parcelas teste. Utiliza classificadores probabilísticos que servem de base para a caracterização estatística dos níveis de reflectância das diversas classes, através da atribuição de uma assinatura espectral às diferentes classes.

Existem alguns aspectos a ter em conta na identificação de elementos. O padrão espacial das relações entre *pixels* tem em conta aspectos como a textura, proximidade, tamanho, forma, direcção, repetição e contexto em que os *pixels* se encontram inseridos, constituindo um elemento importante quando o analista procede a análise visual de imagem.

O padrão temporal é também um elemento importante para a identificação de elementos. De facto se, por exemplo, analisarmos uma imagem onde existem culturas agrícolas o comportamento espectral dos *pixels* vai variar consoante a altura do ano. É por isso importante ter em conta o fenómeno a analisar considerando a época do ano em que este é mais facilmente reconhecível e observável.

É, neste sentido, imprescindível ter em conta a natureza da informação a analisar, a aplicação dos resultados da classificação e os recursos disponíveis quando se aborda “*an image classification problem*” (LILLESAND *et al.*, 2004:551). Neste contexto podemos sistematizar as vantagens e desvantagens de utilização dos diferentes processos clássicos de produção de informação geográfica a partir de imagens de satélite (Tabela 3).

Se por um lado a análise visual de imagem produz bons resultados na classificação de ocupação do solo devido à poderosa ferramenta que o olho e cérebro humano constituem, por outro “*a morosidade e complexidade do processo diminui a rentabilidade dos projectos especialmente para grandes áreas*” (ENCARNAÇÃO,

2004:7). De facto, a produção de mapas temáticos com base em interpretação visual de imagem é dispendiosa, demorada e subjectiva (constituindo por vezes resultados pouco rigorosos). Por este motivo esta abordagem “*falls short of meeting government and commercial sector needs*” (BLUNDELL e OPTIZ, 2006:1).

O processamento digital de imagem possui vantagens em detrimento da análise visual de imagem tais como a classificação estatística automática da imagem, agrupando *pixels* de acordo com o seu comportamento espectral, padrão espacial e temporal, através do cálculo de algoritmos. Esta capacidade constitui uma vantagem pois permite uma redução de tempo e recursos na classificação de uma imagem. Contudo, em ambiente urbano, o PDI em análise *pixel a pixel* possui também lacunas, como a insuficiência em identificar objectos, devido à consideração de variáveis como o comportamento espectral dos *pixels*, que dificulta a percepção da relação com os *pixels* vizinhos e consequente construção de objectos.

	AVI	PDI
Vantagens	Papel preponderante do analista	Classificação estatística automática Possibilidade de replicar o mesmo algoritmo para outras áreas
Desvantagens	Tempo dispendido Subjectividade Meios técnicos Custos	Limitação da classificação a determinadas variáveis (e.g. comportamento espectral dos <i>pixels</i>)

Tabela 3 – vantagens e desvantagens de AVI e PDI

Processos de classificação automática ao nível do *pixel* fazendo uso apenas da informação espectral, ignorando as relações espaciais dos objectos, têm-se revelado ineficaz na extracção de informação de imagens de alta resolução, devido à falta de consideração da dimensão semântica e ontológica das imagens. De acordo com ENCARNAÇÃO (2004:28) da abordagem *pixel a pixel* para a abordagem orientada a objecto há uma “*contínua aproximação da dimensão espectral e quantitativa para a dimensão semântica e ontológica das imagens, numa aproximação à cognição humana, sempre presente nas técnicas de foto-interpretação*”.

Por estes motivos é necessário apostar em metodologias de classificação híbridas de forma a aumentar o rigor e eficiência do processo de produção de informação geográfica. Por conseguinte surgem novos desafios na classificação das imagens de satélite que se prendem com o “*encontrar de soluções para a identificação dos*

elementos nas imagens de forma análoga à interpretação realizada pelo cérebro humano” (FREIRE *et al.*, 2008:2). Desde a década de 70 que se tem vindo a tentar automatizar o processo de extracção de *elementos* a partir de imagens de satélite tendo neste sentido sido desenvolvidas, como alternativa a uma classificação ao nível do pixel, ferramentas classificação ao nível do objecto, e mais recentemente para extracção automática de elementos cujo objectivo é a identificação e digitalização de forma expedita dos objectos de interesse para o analista.

III. 3. Os processos de produção experimentais a partir de imagens de satélite: extracção automática de informação geográfica

A realidade urbana é dinâmica e heterogénea, caracterizada por transformações constantes que necessitam de ser monitorizadas para um melhor conhecimento do território, assim como para uma tomada de decisões ao nível central mais consciente. Alterações ao nível do edificado, frequentes e extensas, ao nível da rede viária e do próprio espaço e arranjo urbano tornam esta realidade ainda mais importante de cartografar. Contudo, com recurso aos métodos tradicionais de produção de cartografia de uso e ocupação do solo (análise visual de imagem e processamento digital de imagem) existe uma grande dificuldade em actualizar cartografia urbana, devido não só à complexidade geométrica/espacial deste território, como também devido à complexidade semântica das suas entidades físicas. Isto significa que a *“identificação de algumas classes de uso do solo não depende tanto das características físicas dos seus objectos mas sim das funções a estes atribuídas”* (ENCARNAÇÃO, 2004:7).

Com os sensores de alta resolução de detecção remota o volume de informação obtida através dos mesmos tem vindo a aumentar. Tradicionalmente, a análise de imagens seria efectuada através de análise visual, contudo, o aumento do volume de informação proveniente de um leque mais vasto de sensores e a necessidade de actualização de cartografia, colocam novos desafios à extracção de informação geográfica a partir de imagens de satélite de alta resolução. De facto, enquanto a análise visual se demonstra um processo viável em pequenas quantidades de informação, a sua performance diminui progressivamente com o aumento do volume da informação a ser analisada, com a sua complexidade (BRENNAN e SOWMNYA, 1998), bem como com o aumento da sua actualização temporal.

Se por um lado o aumento de satélites de detecção remota, e mais especificamente sensores de alta resolução, disponibilizam um maior volume de informação, por outro, esse aumento possibilitou a disponibilização de imagens com características técnicas diferenciadas. Os dados e a informação quantitativa presentes nas imagens de satélite vieram abrir caminho para a investigação sobre a automatização dos processos de produção cartográfica. Actualmente, a criação e desenvolvimento de ferramentas específicas e de algoritmos de extracção automática de elementos, é uma linha de investigação que tem recebido grande atenção, tendo na última década sido desenvolvidos inúmeros estudos e metodologias à volta da temática, com o objectivo de identificar e digitalizar de forma expedita os objectos de interesse para o analista.

LAVIGNE *et al.* (2006) afirmam que extrair informação dentro de um limite temporal razoável “*mandates the development of automated image exploitation tools that can quickly and reliably extract meaningful geospatial information for numerous scenarios*”.

A extracção automática de elementos consiste na identificação e vectorização de objectos pelo programa computacional de forma automática a partir da introdução de parcelas teste por parte do analista. Os processos estatísticos variam consoante o programa utilizado (e.g. ArcGIS Feature Analyst, ENVI Feature Extraction Module, Ecognition, etc.), tentando de uma forma geral aproximar-se à interpretação de imagem. Além das propriedades espectrais, estes softwares utilizam o contexto espacial para melhorar a classificação de *pixels*. No entanto o processo nunca é totalmente automático pois, à semelhança do que acontece nos processos tradicionais de produção cartográfica, é necessário ser o analista a atribuir o significado ao conjunto de pixels agrupados numa categoria, que formam objectos ou elementos.

Na última década, a nível internacional, têm sido testadas diferentes metodologias para extracção de informação geográfica a partir de imagens de satélite, como imagens IKONOS e QuickBird. Entre eles os autores SOHN e DOWNMAN (2001) produziram um estudo com enfoque na extracção de edifícios a partir de imagens IKONOS. Para reduzir o espaço de edifício possível é elaborada uma análise de *Fourier* na fase inicial do processo. Neste estudo é introduzido o conceito de *building unit shape* demonstrando como pode ser utilizado para extrair os contornos de um edifício. Em 2003 os autores aprofundam o estudo de 2001, desenvolvendo uma metodologia para

extracção automática de edifícios, integrando imagens IKONOS com o modelo digital de terreno (MDT) resultante de imagens LIDAR. É utilizado um algoritmo de localização de fronteiras de edifícios poliédricos, que quando localizados são fraccionados por segmentação hierárquica. Apenas os polígonos que compreendem parte significativa dos edifícios são verificados e agregados, sendo reconstruída a sua forma poliédrica.

DIAL *et al.* (2001) demonstram igualmente metodologias para extracção automatizada de vias a partir de imagens IKONOS. Os autores FRASER *et al.* (2002) apresentam uma abordagem de extracção semi-automática de edifícios a partir de imagens IKONOS. No estudo foram encontrados problemas na extracção de edifícios de grande tamanho bem como na reconstrução da sua forma sem recorrer a excessivos processos de generalização.

Outra metodologia para extracção automática de edifícios com recurso a imagens de satélite de muito alta resolução com resultados promissores é a testada por SAN e TURKER (2007) que desenvolveram uma abordagem a partir de imagens IKONOS. Utilizam um indicador de detecção de cantos (*Canny*) para estabelecer os limites do edifício, aplicando posteriormente algoritmos de pós-processamento, no caso o algoritmo *Douglas-Peucker*. Conclui-se que a exactidão dos edifícios extraídos depende fortemente de distinção espectral da área edificada e da análise do modelo digital de terreno normalizado.

Numa teoria de segmentação de imagem os autores AGOURIS *et al.* (1998) desenvolveram uma abordagem para extracção de objectos suportada numa teoria *fuzzy* pensada para funcionar num contexto em que estão disponíveis as imagens de satélite bem como informação pré-existente sobre os objectos. Ainda nesta lógica, os autores DUAN *et al.* (2004) demonstram um modelo de extracção de edifícios em áreas urbanas baseado na segmentação, utilizando imagens de satélite e informação geográfica como informação prévia auxiliar. A informação geográfica constitui conhecimento *a priori* do edifício para o algoritmo de segmentação. O método é estabelecido em 3 passos: pré-processamento, segmentação de objectos através da teoria *fuzzy* e pós-processamento. Os resultados mostram a eficiência da metodologia, sendo no entanto necessário aprofundar e continuar os estudos.

Abordagens para actualização de cartografia são também desenvolvidas, como o exemplo do estudo dos autores EIDENBENZ *et al.* (2000), que através do projecto ATOMI pretendem, a partir da definição do centróide do eixo de via e dos contornos dos telhados dos edifícios desenvolver uma metodologia para actualização informação geográfica de edifícios, para mapas a uma escala de 1:25000.

Modelos de extracção de elementos em áreas urbanas revestem-se de grande importância pelo potencial de transferibilidade a outras realidades que oferecem. Segundo OGAWA *et al.* (2004) uma abordagem baseada num mapa de referência já existente, fundindo com a imagem de satélite da área de estudo (fornecendo informação adicional sobre o objecto), provou ser eficiente não só na extracção de objectos a partir de imagens de satélite como também resultou numa mais fácil actualização de mapas em bases de dados em ambiente SIG.

É de ressaltar a importância de estudos teóricos elaborados sobre a temática de extracção de elementos a partir de imagens de satélite. Neste âmbito o autor BALTSAVIAS (2002) produziu um estudo relevante sobre o estado da arte de extracção de objectos tendo como objectivo a definição dos passos a tomar em direcção a sistemas operacionais. MAYER (1999) desenvolveu também um estudo de referência nesta temática fazendo um resumo dos estudos elaborados na última década sobre extracção de objectos e várias metodologias desenvolvidas, focando-se na extracção de edifícios, fazendo um ponto de situação da matéria a nível internacional. No que concerne a automatização do processo, no caso de extracção de vias, MENA (2003) elaborou também um ensaio que resume quase 250 estudos e metodologias desenvolvidas neste tema. Estes estudos dão um importante enquadramento teórico sobre a EAE, constituindo um bom ponto de partida para estudos de metodologias experimentais para EAE.

Existem também alguns estudos que testam as capacidades do *software* FA para extrair automaticamente elementos (testado no Capítulo V). Os autores VANDERZANDEN e MORRISON (2003) elaboraram um estudo que demonstra o papel que o FA pode ter quando utilizado pelos serviços de florestais na extracção de elementos (e.g. vegetação, árvores) comparativamente a técnicas tradicionais de interpretação de imagens. Os resultados obtidos no ensaio são muito positivos.

Tendo em conta as potencialidades que o FA possui para extracção de elementos em ambiente urbano é de grande interesse realçar o estudo realizado por O'BRIEN (2003) que pretende comparar o tempo e qualidade de uma extracção manual com uma extracção automática com recurso ao FA. Os resultados são muito positivos para o FA sendo considerado que o processo de extracção automática poupa tempo reduzindo fortemente a carga de trabalho dos técnicos.

Em 2006 foi realizado um estudo com o objectivo de comparar e avaliar diferentes ferramentas de extracção automática de elementos. Os autores LAVIGNE *et al.* (2006) procederam a uma avaliação de fotografia aérea e uma imagem QuickBird com recurso aos *softwares* de extracção automática de elementos FA, eCognition e Genie Pro. Foi concluído que o FA possui, em relação aos restantes softwares testados, melhores ferramentas para extrair superfícies artificializadas.

Numa óptica dos principais componentes que o FA possui para extracção automática de elementos a partir de imagens de satélite os autores BLUNDELL e OPITZ (2006) abordam-nos de forma sintética num estudo de cariz teórico.

Ao nível nacional, diversos estudos têm sido efectuados numa abordagem orientada a objecto em detrimento de uma abordagem pixel a pixel, para actualização de cartografia temática. Autores como GONÇALVES *et al.* (2001), GONÇALVES e CAETANO (2004), e ENCARNAÇÃO (2004) têm desenvolvido investigação nesta temática de forma a explorar o potencial deste tipo de análise para a actualização de cartografia. De facto, nos 3 estudos são comprovadas as potencialidades da análise orientada a objecto por esta combinar a resposta espectral dos objectos à sua forma, textura, relações de vizinhança, hierarquia dos objectos imagem, etc., permitindo diferenciar objectos representados na imagem em relação a outros.

É explorada nos 3 estudos a segmentação multiresolução (Figura 5), método que se baseia na técnica de fusão de regiões começando cada pixel por formar um objecto ou região, isto é, o primeiro nível de segmentação corresponde à imagem constituída por objectos cuja área mínima é igual à do pixel. A fusão dos objectos contíguos é determinada com base em critérios de homogeneidade local que produzam um acréscimo mínimo de heterogeneidade, isto é, os objectos contíguos são fundidos num único objecto se a heterogeneidade espectral do objecto resultante da fusão não ultrapassar um valor máximo (designado de parâmetro escala), dependendo a dimensão

dos objectos resultantes do processo de segmentação do valor atribuído ao parâmetro escala (GONÇALVES e CAETANO, 2004).

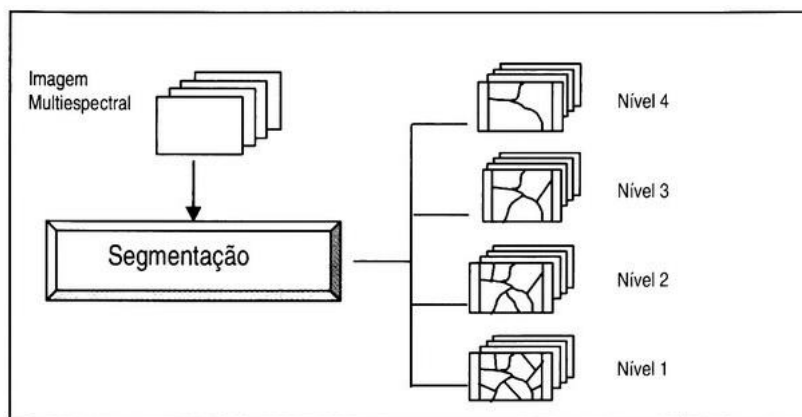


Figura 5 – Esquema de segmentação multiresolução
Fonte: GONÇALVES e CAETANO, 2004:149

Igualmente de destacar nesta temática é o trabalho de FREIRE *et al.* (2008), FREIRE *et al.* (2009), SANTOS *et al.* (2009 a), SANTOS *et al.* (2009 b), que têm desenvolvido metodologias de extracção de elementos (ou objectos), no âmbito do projecto GeoSat²⁵, com recurso a *softwares* de extracção automática de elementos. Os autores têm desenvolvido variados ensaios para testar metodologias de extracção de objectos geográficos em áreas urbanas de grande heterogeneidade a partir de imagens de satélite bem como a avaliação dos dados obtidos com recurso ao software FA, ENVI Feature Extraction Module e Definiens Professional. Os resultados alcançados por FREIRE *et al.* (2008), para a área de estudo da zona oriental de Lisboa, têm sido satisfatórios para extracção de alguns objectos, particularmente para a extracção de edificado. No estudo elaborado em 2009, FREIRE *et al.* concluíram que para mapear e caracterizar áreas de agricultura urbana o Definiens Professional apresenta maior rigor e concordância com a informação de referência, para o teste efectuado. SANTOS *et al.* (2009 a, b) exploram abordagens para avaliação da qualidade temática, geométrica e completude dos edifícios extraídos de imagens QuickBird com recurso ao FA introduzindo índices geométricos, de forma e dimensão fractal. A maior dificuldade encontrada foi a definição de relações de polígonos 1-1, sendo excluídas da avaliação de

²⁵ GeoSat – Metodologias para extracção de informação geográfica a grande escala a partir de imagens de satélite de alta resolução, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/GEO/64826/2006), em curso no e-GEO Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas – Universidade Nova de Lisboa.

exactidão as relações de 1-n devido à dificuldade de aplicar a métrica de número de vértices.

A Tabela 4 apresenta o resumo dos artigos mais relevantes, de acordo com o método de detecção de alterações aplicado, o objectivo do estudo, o tipo de imagens de satélite, a técnica para extrair elementos e o tipo de avaliação de qualidade realizada.

Após a revisão da literatura científica sobre metodologias experimentais para extracção de informação geográfica a partir de imagens de satélite, retiram-se as seguintes ideias:

- Dos 21 estudos citados 14 utilizam imagens de satélite de muito alta resolução (IKONOS e QuickBird);
- São utilizados vários métodos para extrair objectos de imagens de satélite, sendo de realçar os utilizados com maior recorrência: a segmentação multiresolução, lógica *fuzzy*, e extracção de objectos com recurso ao FA;
- 5 dos estudos citados utilizam como recurso para a extracção de elementos o *software* FA.

Neste sentido, nesta dissertação pretende-se testar as potencialidades do *software* FA para extrair de forma semi-automática informação geográfica a partir de imagens de satélite de alta resolução. O *software* FA, uma aplicação de EAE (extracção automática de elementos), desenvolvido pela Virtual Learning Systems (VLS) para classificar imagens de satélite com alta resolução espacial, recorre a técnicas de inteligência artificial utilizando “*a cutting-edge statistical and machine-learning algorithms to model the feature-recognition process*” (O’BRIEN, 2003:2). O valor da extracção automática de elementos com recurso ao FA é o tema a ser discutido nos próximos capítulos da presente dissertação.

Estudos Internacionais				
Autores	Objectivo	Imagens	Método	Avaliação da qualidade
EIDENBENZ <i>et al.</i> (2000)	Actualização de informação geográfica: vias e edificado	Não específica	Definição do centróide do eixo de via e dos contornos dos telhados dos edifícios	Erros de comissão e omissão, precisão global
DIAL e POULSEN (2001)	Metodologias para extracção autonomizada de vias	IKONOS	Caracterização das regiões de via, através do ND do pixel	Não realizada
SOHN e DOWNMAN (2001)	Metodologias para extracção de edifícios a partir de imagens de alta resolução	IKONOS	Análise de <i>Fourier Building unit shape</i>	Erros de comissão e omissão, precisão global
BALTSAVIAS (2002)	Estado da arte de extracção de objectos	-	-	-
FRASER <i>et al.</i> (2002)	Desenvolver uma abordagem de extracção semi-automática de edifícios bem como de posicionamento de pontos 3D	IKONOS	Análise radiométrica	Não realizada
SOHN e DOWNMAN (2003)	Metodologias para extracção de edifícios a partir de imagens de alta resolução	IKONOS LIDAR	Segmentação hierárquica	Erros de comissão e omissão, precisão global
MAYER (1999)	Estado da arte em extracção de edifícios	-	-	-
MENA (2003)	Estado da arte de extracção de objectos	-	-	-
DUAN <i>et al.</i> (2004)	Desenvolver um modelo de extracção de edifícios em áreas urbanas	QuickBird	Segmentação Lógica <i>fuzzy</i>	Não realizada
O'BRIEN (2003)	Comparar o tempo e qualidade de uma extracção manual com uma extracção automática	ADAR	Comparação tempo Comparação visual	Não realizada
VANDERZANDEN e MORRISON (2003)	Testar as capacidades do Feature Analyst para extracção de vegetação	QuickBird	Extracção de elementos com recurso ao Feature Analyst ArcGIS	Matriz de erro
OGAWA <i>et al.</i> (2004)	Desenvolver um modelo de extracção de edifícios a partir de imagens de satélite de alta resolução	Não específica	<i>Map based approach</i>	Erros de comissão e omissão, precisão global
LAVIGNE <i>et al.</i> (2006)	Avaliação e comparação da qualidade de ferramentas de extracção automática de elementos a partir de imagens de alta resolução	Fotografia aérea QuickBird	Extracção de elementos com recurso ao software: Feature Analyst, eCognition, Genie Pro	Erros de comissão e omissão, precisão global Índice <i>Kappa</i>

BLUNDELL e OPITZ (2006)	Abordagem teórica das principais funcionalidades do Feature Analyst	-	-	-
SAN e TURKER (2007)	Desenvolver uma abordagem para extracção automática de edifícios	IKONOS	Indicador de detecção de cantos Algoritmo de pós-processamento: <i>Douglas-Peucker</i>	Erros de comissão e omissão, precisão global
Estudos Nacionais				
Autores	Objectivo	Imagens	Método	Avaliação da qualidade
GONÇALVES <i>et al.</i> (2001)	Exploração de informação temática de imagens de alta resolução	IKONOS	Segmentação multiresolução Lógica <i>fuzzy</i>	Melhores resultados Estabilidade da classificação
GONÇALVES e CAETANO (2004)	Extracção de informação temática a partir de imagens de satélite	IKONOS	Segmentação multiresolução Lógica <i>fuzzy</i> Análise de incerteza	Índice de precisão global Índice <i>Kappa</i> Mapa de incerteza
ENCARNAÇÃO (2004)	Análise de imagem orientada por objecto	QuickBird	Segmentação espacial	Não realizada
FREIRE <i>et al.</i> (2008)	Extracção de objectos em ambiente urbano	QuickBird	Extracção de elementos com recurso ao Feature Analyst ArcGIS	Não realizada
FREIRE <i>et al.</i> (2009)	Mapear e caracterizar agricultura urbana com recurso a imagens de satélite de alta resolução	QuickBird	Extracção de elementos com recurso ao Feature Analyst ArcGIS, ENVI Feature Extraction Module, Definiens Professional	Erros de comissão e omissão, precisão global
SANTOS <i>et al.</i> (2009 a, b)	Avaliação de precisão de elementos extraídos a partir de imagens de satélite de alta resolução	QuickBird	Extracção de elementos com recurso ao Feature Analyst ArcGIS	Erros de comissão e omissão, precisão global Índices geométricos Índice de forma Dimensão fractal

Tabela 4 – Estudos realizados sobre extracção de informação geográfica

III. 4. O valor da extracção automática de elementos

Além das propriedades espectrais, o *software* FA utiliza o contexto espacial para melhorar a classificação de elementos através dum método interactivo de aprendizagem sucessiva (FREIRE *et al.*, 2008). O FA funciona a partir da introdução de elementos de treino²⁶, por parte do analista (e.g. árvores, edifícios, vias), aprende a partir dos exemplos e classifica o resto da imagem. Este método de aprendizagem possui uma ferramenta denominada *Learner* que através das parcelas teste digitalizadas pelo analista extrai todos os elementos na área de estudo que “*closely resemble the examples provided, and returns them in the form of a vector file*” (VLS, 2006a:i), utilizando um algoritmo que determina a assinatura numérica para cada classe a extrair, comparando cada *pixel* da imagem com a assinatura criada, determinando quais pertencem à classe a extrair.

O objectivo da extracção de elementos, no FA, é combinar classes espectrais com as classes temáticas, isto é, quando o analista digitaliza os elementos de treino e os identifica como, e.g. edificado, o programa relaciona a classe temática ao comportamento espectral dos *pixels* contidos na mesma.

O FA possibilita, após a primeira extracção baseada nas parcelas teste inseridas pelo analista, que este identifique objectos classificados correctamente, incorrectamente, bem como adicionar objectos que não foram classificados. Esta abordagem pode ser repetida quantas vezes o analista entender levando a uma aprendizagem hierárquica que é a chave “*behind the adaptive, intelligent agent of Feature Analyst*” (VLS, 2006a:i). A possibilidade de repetição do procedimento divide a tarefa de extracção em “sub-problemas” mais específicos e bem definidos, permitindo um refinamento do conjunto de parcelas teste introduzidas, levando consequentemente a um refinamento dos resultados da extracção em si. Os procedimentos gerais do FA são esquematizados na Figura 6.

O objectivo desta fase, e uma das principais valências do FA, é precisamente a aprendizagem hierárquica através da remoção de ruído (*remove clutter*) ou falsos positivos e recuperação de elementos que não foram classificados como classe temática

²⁶ Ou áreas/objectos de treino

a extrair, aproximando-se a lógica computacional do *software* do raciocínio do cérebro humano.

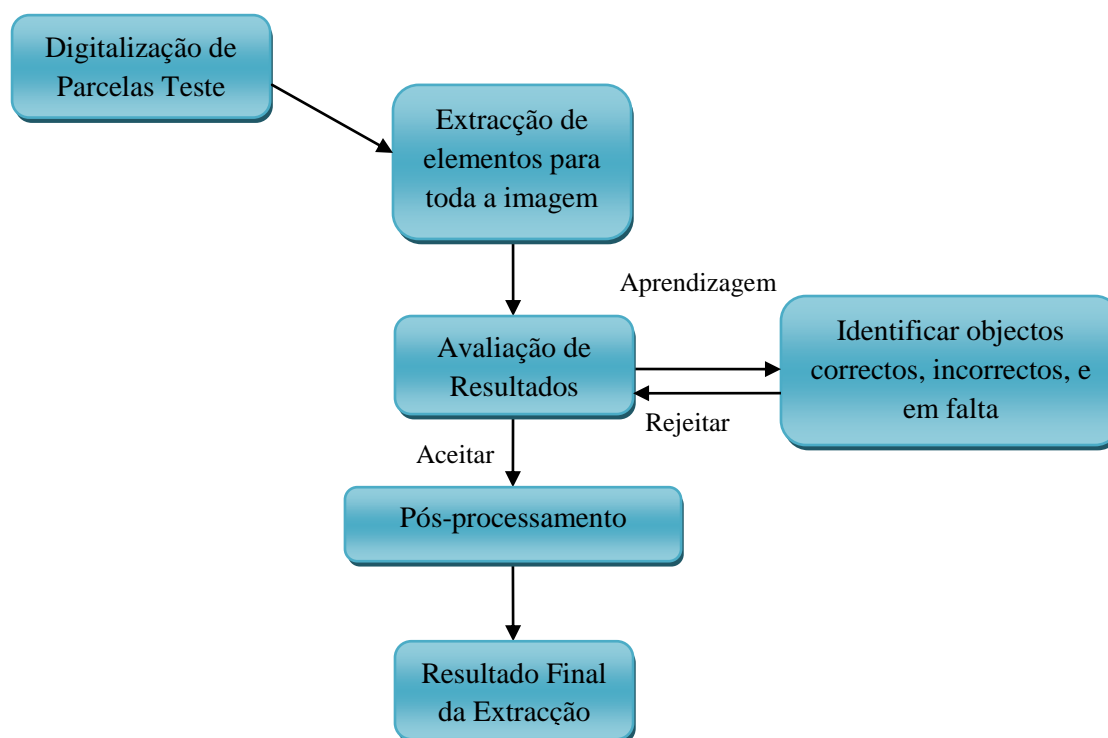


Figura 6 – Fluxograma geral de processos do FA

A partir dos resultados extraídos através do processo de aprendizagem hierárquica do FA, é possível aplicar algoritmos de generalização cartográfica²⁷ de forma a melhorar aspectos da visualização gráfica e representação da informação geográfica. O FA possui vários operadores que simplificam a informação geográfica extraída, são eles: agregação de objectos, suavização de linhas (algoritmo *Bezier* e *Douglas-Peucker*), *square up* (tornar rectângulo), e conversão para ponto e para linha.

²⁷ Podemos definir generalização como o processo ou processos de abstracção de dados geográficos disponíveis a determinado nível, tendo em vista determinado objectivo, que envolve sempre a necessidade de uma modificação/adaptação dos objectos cartográficos em função de uma redução de escala, para a produção de representações gráficas (mapas) claras, ou a adaptação/selecção da informação geográfica disponível para fins analíticos. O problema passa por ajustar os símbolos do mapa de forma a serem adequados ao objectivo e escala do *output* pretendido. A generalização pode ainda ser entendida como uma série de modificações numa representação gráfica de informação espacial, com o objectivo de melhorar a legibilidade e discernimento dos dados (MULLER *et al.*, 1995).

A generalização cartográfica centra as suas preocupações nos aspectos da visualização gráfica da informação geográfica (legibilidade), concentrando-se ao nível da comunicação visual dos dados, não havendo por isso uma alteração dos atributos da base de dados. O seu objectivo é: alcançar a maior precisão possível em função da escala do mapa, a adaptação geométrica dos elementos do mapa de forma a conseguir-se uma boa capacidade informativa, uma boa caracterização (geométrica) dos elementos de um mapa, bem como uma coerência nas cores e formas utilizadas. Proporcionar boa legibilidade, clareza, e ainda um equilíbrio gráfico entre todos os elementos representados são também propósitos da generalização cartográfica.

A importância desta operação prende-se com a melhoria de legibilidade, clareza, um equilíbrio entre os elementos representados e a sua correspondência real, bem como com o discernimento dos objectos após aplicação de algoritmos de generalização.

Após serem experimentados os algoritmos de generalização, é seleccionado o método que permita melhores resultados de visualização, representação, correspondência com a “verdade no terreno” dos objectos extraídos, constituindo o resultado final.

As funcionalidades do FA serão aprofundadas no Capítulo IV relativo à metodologia adoptada no caso de estudo da presente dissertação.

III. 4. 1. As vantagens

A extracção automática de informação geográfica possui vantagens evidentes face aos métodos de produção cartográfica tradicionais. Por um lado, e constituindo um factor preponderante, temos uma redução comprovada do tempo de processamento e extracção de informação (incluindo todo o processo: digitalização, classificação, e pós-processamento), por outro lado esta redução de tempo proporciona uma consequente redução de recursos. De facto, o tempo dispendido na extracção de elementos pelo analista diminui exponencialmente quanto mais automático for o processo. Existem estudos que comparam o tempo de extracção manual e automática de elementos, veja-se VANDERZANDEN e MORRISON (2003) e O'BRIEN (2003), concluindo-se que a poupança de tempo e recursos humanos compensa a utilização de *softwares* de EAE, face aos resultados obtidos.

De acordo com O'BRIEN (2003) o FA proporciona uma mudança de paradigma pois:

- a) Utiliza informação espectral, espacial, temporal, e informação auxiliar;
- b) Proporciona a opção de remoção de ruído (*remove clutter*);
- c) Incorpora vantagens de técnicas de aprendizagem (*hierarchical learning*) contribuindo para elevados níveis de exactidão;
- d) Fornece um interface de simples utilização para o analista para extracção de elementos.

A acrescentar a estes factores o funcionamento computacional do FA aproxima-se do raciocínio do cérebro humano ao associar informação espectral, espacial, temporal, e informação auxiliar, bem como pela ferramenta *hierarchical learning* que permite uma redefinição dos parâmetros introduzidos *a priori* para a extracção de elementos.

A fase de pós-processamento constitui também uma vantagem do FA. De facto, quando se trabalha em extracção automática de elementos muitas vezes os resultados podem ser demasiado complexos para serem representados claramente, particularmente quando há alterações de escala do mapa. Com recurso a generalização cartográfica geométrica²⁸ é possível criar um mapa final com boas características visuais, para uma comunicação eficiente. Assim sendo os “*tipos de símbolos e o nível da generalização geométrica, devem preservar partes importantes dos dados e eliminar ou simplificar, os dados ou objectos de menor importância*” (LOPES, 2005:20).

A generalização cartográfica constitui uma vantagem também devido à possibilidade de automatização do seu processo. O papel do analista continua a ser essencial, este define a transformação que se pretende alcançar, enquanto os algoritmos de generalização operam essa transformação. Actualmente ferramentas automáticas de generalização são mais comuns em tipos individuais de objectos, como linhas ou polígonos (LOPES, 2005:17).

III. 4. 2. As desvantagens

Extrair objectos de forma automática constitui-se como um grande desafio à comunidade científica devido à complexidade de entender e replicar o processo manual humano, pela tentativa de aproximação do funcionamento de um programa computacional ao raciocínio do cérebro humano. Como já discutido anteriormente, os métodos tradicionais de produção de cartografia assentam fundamentalmente na análise do comportamento espectral dos *pixels*, excluindo o reconhecimento análogo entre as características de um objecto. Isto significa que enquanto o analista interpreta um objecto tendo em conta o seu comportamento espectral, forma, dimensão, relação com

²⁸ A generalização cartográfica geométrica consiste na manipulação de características gráficas de objectos representados no mapa, em detrimento da generalização semântica que se baseia na escolha inicial da informação relevante a representar no mapa.

outros objectos, a sua percepção da realidade urbana bem como o conhecimento *a priori* da mesma constitui uma grande vantagem na atribuição de um significado ao objecto. Contrariamente, o computador processa estatisticamente a informação existente na imagem.

Dando um exemplo mais concreto, tomando como princípio que se está a analisar uma imagem de satélite de alta resolução da cidade de Lisboa, para um intérprete a atribuição do significado “escola” é bastante fácil devido à configuração deste tipo de equipamentos na cidade de Lisboa. De facto, as escolas construídas no século XX possuem uma configuração muito própria facilmente reconhecível por um analista familiarizado com a realidade em questão. Por sua vez, o computador identifica o objecto sem no entanto atribuir um significado ao mesmo.

Por esse motivo a extracção de elementos não é totalmente automatizada devido à incapacidade de replicar no computador o papel que o analista possui na atribuição do significado ao objecto extraído pelo programa. Como referem os autores BRENNAN e SOWMNYA (1998) *“what seems an easy task for human interpreters, namely comparing maps and satellite images with each other via perceiving their contents, is a non-trivial task for computers”*. Neste caso nem se está a considerar o papel que o analista possui na verificação da classificação efectuada pelo computador, que muitas vezes devido à confusão espectral ou geométrica de objectos complexos o *software* não consegue extrair correctamente os objectos, originando situações de polígonos que contêm mais do que um objecto ou um objecto que foi extraído em mais do que um polígono²⁹.

A estes motivos podemos acrescentar ainda o papel do analista na introdução de parcelas teste que servem de ponto de partida para a extracção automática de elementos, bem como o seu papel na definição e variação dos parâmetros para a extracção (e.g. definição do padrão espacial).

No que diz respeito à automatização dos procedimentos de generalização cartográfica, se por um lado aplicações computacionais podem ser utilizadas no processo, por outro na maioria dos casos o julgamento e sensibilidade do operador é indispensável. De facto um analista experiente pode tomar decisões que não podem ser sintetizadas por programas de computador e ainda tomar decisões em situações críticas,

²⁹ Excluindo os casos de erros de omissão e comissão.

mantendo uma visão global do mapa, tendo em conta *“todos os factores, desde regras cartográficas a prioridades entre as entidades e legibilidade obtida”* (LOPES, 2005:17).

Tomando em conta os factores apresentados podemos concluir que a extracção de elementos com recurso ao FA não é um processo totalmente automático mas sim um processo semi-automático, tendo o analista desempenhar um papel preponderante em várias tarefas ao longo do processo de extracção. Contudo, investigadores continuam a procurar desenvolver metodologias que conduzam a um aumento da automatização do processo de extracção de informação geográfica a partir de imagens de satélite, com vista a tornar o processo mais eficaz e eficiente.

III. 5. Síntese sobre o valor da integração de imagens de satélite de alta resolução na produção de informação geográfica municipal

A produção informação geográfica e subsequente produção cartografia municipal pode resultar de dados recolhidos no terreno, de fotografia aérea ou de imagens de satélites. Segundo SANTOS (2003) muitos países utilizam fotografias aéreas como base temática da ocupação do solo, pois permitem uma elevada precisão temática e espacial, tal como é o caso de Portugal. No entanto, a classificação de fotografias aéreas requer muitos recursos, nomeadamente a nível de recursos humanos, visto que o método de processamento utilizado é a foto-interpretação.

Com o aumento do número de satélites de detecção remota em órbita cresceu o número de sensores que captam imagens, designadamente de alta resolução. Com recurso a imagens de satélite a extracção de informação geográfica é realizada através de técnicas de processamento digital e/ou análise visual. Depois de processadas são produzidos produtos finais que transmitam eficazmente a informação pretendida (e.g. um mapa temático, estatísticas, etc.).

Assim sendo, a utilização de imagens de satélite para a produção de cartografia possui como vantagens em detrimento da fotografia aérea, entre outras, a possibilidade de uma *“aquisição periódica e a cobertura de grandes áreas a custos relativamente baixos”* (SANTOS, 2003:2). De acordo com a autora as imagens de satélite têm sido amplamente usadas por constituírem dados geralmente mais baratos e permitirem uma

produção cartográfica mais rápida³⁰. Em consequência do aumento da sua utilização, houve também um acréscimo das características das imagens disponíveis.

De facto, no decorrer da última década, com o aumento das características das imagens disponíveis, a utilização de imagens de satélite de alta resolução sofreu um acréscimo, conduzindo ao desenvolvimento de novas técnicas de processamento de imagem. Surge uma nova temática de investigação sobre a automatização da extracção de elementos, conduzindo a uma mudança de paradigma nos processos de produção de cartografia de ocupação e uso do solo. Se até agora a produção de informação geográfica assentava nos métodos tradicionais (análise visual de imagem e processamento digital de imagem) actualmente estão já a ser desenvolvidas técnicas para um processamento automático de imagens de satélite de alta resolução.

De facto, o valor da integração de imagens de satélite de alta resolução na produção de informação geográfica ao nível municipal prende-se com as possibilidades de desenvolvimento de uma metodologia de extracção automática de elementos.

Foi já discutido no presente capítulo o valor que a EAE possui para a produção de cartografia municipal, sendo que esta está a ser testada e aplicada a uma escala muito grande (municipal) devido às suas potencialidades para extrair objectos com uma unidade mínima de análise (UMA) reduzida, como é o caso dos edifícios, árvores, vias. A automatização do processo de extracção de informação geográfica apresenta possibilidades para a actualização de cartografia municipal em períodos mais reduzidos devido à diminuição de recursos e tempo consumidos na tarefa. Se anteriormente, o processo de actualização de cartografia municipal acarretava grandes custos e tempo dispendido, actualmente com o desenvolvimento de estudos e metodologias em torno da EAE, a actualização de cartografia municipal em períodos inferiores a 10 anos (período de vigência do PDM em que é obrigatória a actualização de cartografia) parece tornar o processo viável. Este facto constitui *per si* outra mudança de paradigma: a actualização periódica de cartografia municipal para sustentar a tomada de decisões com base em cartografia actualizada.

³⁰ Este facto não exclui que a produção de cartografia com base em imagens de satélite tenha desvantagens. Estas residem na classificação com base ao nível do pixel (mas não só) dificultando a identificação de algumas ocupações do solo. Reside também na confusão de comportamentos espectrais que uma classificação com base nas características do pixel pode acarretar.

Por estes motivos a integração de imagens de satélite de alta resolução na produção de informação geográfica municipal possui grande valor constituindo mesmo um caminho a seguir. Assim sendo no próximo capítulo é discutida uma metodologia geral de extracção de elementos no processo de produção de informação geográfica municipal.

CAPÍTULO IV: ESTRUTURA PARA UMA METODOLOGIA GERAL DE EXTRACÇÃO DE ELEMENTOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA MUNICIPAL

De acordo com os pontos anteriores da dissertação para a utilização de informação geográfica ao nível municipal e sobre o valor da integração de imagens de satélite de alta resolução na produção de informação geográfica municipal. Deparamo-nos com a urgência da automatização dos processos de produção de cartografia de uso e ocupação do solo a grandes escalas. Esta necessidade advém de aspectos que se relacionam, assim temos:

- Desadequação da periodicidade de actualização da cartografia municipal. De facto, esta tem como obrigatoriedade implícita através do PDM a actualização de 10 em 10 anos, período de vigência do mesmo, após o qual se desenvolve a revisão do plano em vigor, procedendo-se simultaneamente à actualização da cartografia municipal. Compreende-se assim a necessidade de informação geográfica actualizada para a prossecução do disposto na lei sobre os IGT, para apoio à decisão autárquica (sobre e.g. pedidos de viabilização de construção), para monitorização de alterações em solo urbano proporcionando um conhecimento sistemático da realidade municipal.
- Contudo, os processos operacionais de produção de informação geográfica demonstram ser desadequados para uma actualização periódica de cartografia, tendo em conta o consumo de tempo e recursos que acarretam.

Para procurar dar resposta a estes problemas, partimos dos seguintes pressupostos:

- a. *Se* a informação geográfica possui extrema importância para o ordenamento do território, não só como ferramenta de apoio à decisão mas também como para dar resposta aos requisitos dos IGT, e *se* a frequência com que é actualizada é desadequada, **então** é necessário desenvolver metodologias para proceder a uma actualização mais regular e em intervalos temporais menores.
- b. *Se* é necessária a actualização de cartografia municipal em períodos inferiores a 10 anos, **então** está implícita uma mudança de paradigma nos processos de produção de informação geográfica, pressupondo novas metodologias de

produção, mais eficientes e com base em imagens de satélite de alta resolução, (mais adequadas do que os métodos tradicionais (AVI e PDI), permitindo assim uma maior adequação à escala de análise).

- c. *Se* a extracção automática de elementos enquanto processo de produção de informação geográfica demonstra grandes potencialidades e valor (conforme discutido no Capítulo III. 3.), *então* o desenvolvimento de metodologias para a aplicação deste processo à actualização de cartografia municipal constitui uma alternativa aos processos de produção tradicionais, logo a mudança de paradigma necessária.

Partindo dos pressupostos apresentados, no presente capítulo é apresentada a metodologia geral adoptada de extracção de elementos no processo de produção de informação geográfica ao nível municipal. Pretende-se, após um enquadramento teórico que demonstra o valor que esta abordagem pode ter para a produção de informação geográfica (e posteriormente cartografia de uso do solo) no Capítulo III, alcançar resultados satisfatórios de uma extracção automática com recurso ao FA, que possam integrar as bases de dados de informação geográfica municipal, para actualizar cartografia de base já existente e para produzir cartografia temática.

De ressaltar que na presente dissertação não são contempladas metodologias para integração de informação geográfica em bases de dados municipais, mas sim a produção automática de informação geográfica que tenha qualidade para integrar uma base de dados municipais, ficando por isso o desenvolvimento de uma metodologia de integração da informação proveniente da metodologia testada no presente ensaio em aberto para futuros estudos.

Assim sendo, a estratégia metodológica proposta para o caso de estudo, com o objectivo de desenvolver metodologias para extracção automática de informação geográfica consiste na:

- Elaboração de uma entrevista a 3 autarquias seleccionadas sobre a utilização e necessidade de informação geográfica ao nível municipal a partir da qual se pretende concluir quais as classes de informação geográfica mais pertinentes, sustentando a extracção de elementos com recurso ao FA;

- Criação de informação de referência partindo do método tradicional de produção de informação geográfica: A análise visual de imagem;
- Reconhecimento da área de estudo através de saídas de campo e recolha de fotografias do local, constituindo mais uma ferramenta para validação da informação de referência;
- Extracção automática de elementos, concluídos pertinentes na entrevista às autarquias, com recurso ao Feature Analyst;
- Comparação dos resultados, classes edificado e vias, da extracção automática de elementos com recurso ao FA com a informação de referência resultante de AVI;
- Avaliação da qualidade dos resultados da extracção a partir do cálculo de índices para a avaliação da qualidade temática dos resultados extraídos de forma automática com recurso ao FA. A metodologia proposta pode ser esquematizada da seguinte forma (Figura 7):

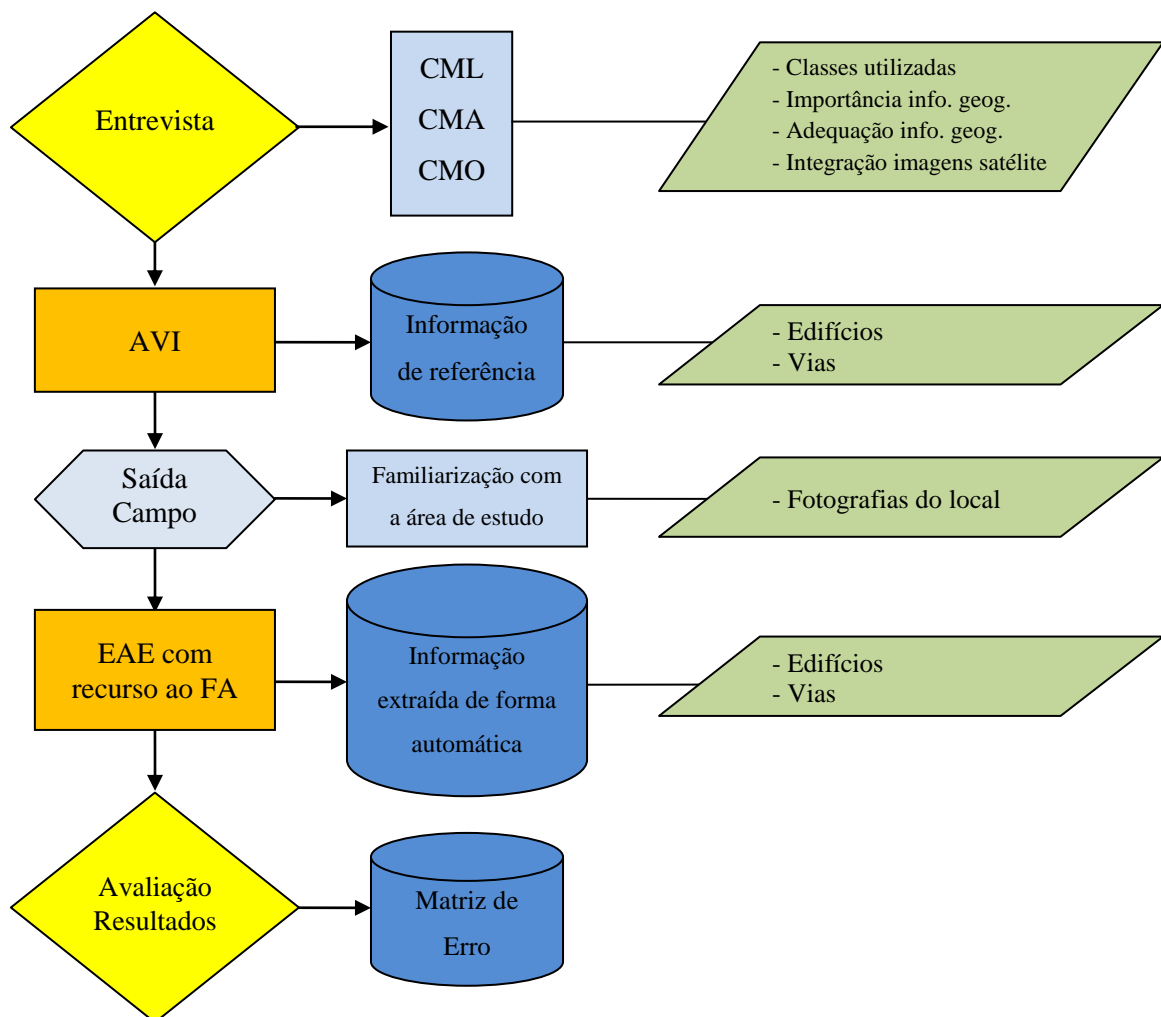


Figura 7 – Fluxograma metodológico

A metodologia desenvolvida para elaboração do caso de estudo pauta-se, resumidamente, pela exploração das etapas abaixo enumeradas, que serão descritas no presente capítulo:

1. Elaboração de entrevista sobre a utilização e necessidade de informação geográfica ao nível municipal
2. Análise visual de imagem
3. Familiarização com a área de estudo
4. Extração automática de elementos com recurso ao Feature Analyst
5. Avaliação da qualidade dos resultados da extração

IV. 1. Elaboração de entrevistas sobre a utilização e necessidade de informação geográfica ao nível municipal

A primeira etapa consiste na elaboração de uma entrevista para avaliação de necessidades de informação geográfica a uma amostra de 3 autarquias da Área Metropolitana de Lisboa. Esta primeira fase pode ser escalonada em diferentes sub-etapas:

1. Definição da amostra e estabelecimento de contactos;
2. Fase de elaboração e preparação das operações de lançamento da entrevista;
3. Fase de realização (aplicação à amostra definida);
4. Fase tratamento de dados da entrevista;
5. Análise dos resultados e elaboração das conclusões.

Primeiramente, e no âmbito do projecto onde a dissertação se insere (GeoSat), as entrevistas estavam destinadas a ser realizadas sob a forma de inquérito via electrónica. Contudo, devido à amostra seleccionada ser relativamente reduzida (3 autarquias) e de autarquias da AML, facilitando a deslocação às respectivas, realizou-se uma entrevista a cada uma delas, dando azo a uma discussão mais aprofundada sobre os temas.

O objectivo da entrevista é aferir que tipo de informação geográfica é considerada, pelos departamentos autárquicos seleccionados, como mais relevante para as actividades quotidianas de utilização e actualização cartográfica. Pretende-se portanto

realizar um inventário de necessidades ao nível municipal quanto à informação geográfica, suas características e intervalo temporal de actualização.

Os resultados da entrevista foram já discutidos no Capítulo II. 3.

IV. 2. Análise visual de imagem

Nesta fase o objectivo é de criar um conjunto de dados de informação de referência, para as classes de objectos seleccionadas na fase anterior (entrevista), a partir de análise visual de imagem. Para tal, procedeu-se a uma digitalização em gabinete das classes seleccionadas.

O conjunto de dados é criado e digitalizado em gabinete, a partir da análise de forma independente da imagem QuickBird, recorrendo sempre que possível a informação auxiliar e outras fontes de dados que permitam apoiar e validar a análise visual, como é o caso das fotografias aéreas oblíquas disponibilizadas no site *maps.live.com*. Os resultados obtidos serão utilizados posteriormente para avaliar a qualidade temática e geométrica da informação extraída automaticamente com recurso ao Feature Analyst.

IV. 3. Reconhecimento da área de estudo

Foram realizadas duas saídas de campo³¹ para adquirir algum conhecimento da área de estudo, de forma a apoiar e verificar a informação de referência adquirida por análise visual. Foram tiradas fotografias de locais que na imagem QuickBird suscitavam dúvidas, mesmo com o auxílio do *maps.live.com*, com o intuito de as esclarecer e classificar os objectos de acordo com a realidade do terreno. Assim sendo, esta fase reveste-se de importância por aumentar a confiança o conjunto de dados de informação de referência constituído na fase anterior (análise visual de imagem), servindo como elemento auxiliar à análise visual de imagem.

³¹ Nos dias 28 de Outubro 2008 e 04 de Novembro de 2008.

IV. 4. Processamento: Extracção automática de elementos no Feature Analyst

Testar as potencialidades do Feature Analyst para extrair de forma automática informação geográfica e torná-la apropriada para posteriormente integrar as bases de dados municipais é o principal objectivo deste ponto. Como tal, esta tarefa reveste-se de grande importância para a construção de uma metodologia válida para tornar automático o processo de extracção de elementos.

Como tal, de seguida é descrito o *workflow* geral para extracção de elementos pelo FA. A primeira etapa – digitalização de elementos de treino – é fulcral para a qualidade dos objectos extraídos. De facto, quanto mais preciso e rigoroso for o conjunto de elementos de treino inseridos pelo analista, melhor a qualidade dos resultados que o programa irá extrair de forma automática. A extracção que o FA faz abrange todos os elementos com um comportamento espectral, espacial e geométrico semelhante, partindo de um conjunto de elementos de treino em que as características espectrais e geométricas do elemento a extrair são rigorosamente delineadas. É necessário criar um critério de digitalização de elementos de treino muito rigoroso em que sejam identificadas claramente as características representativas dos elementos a extrair.

O FA tem a vantagem de permitir adicionar elementos de treino após a classificação da imagem, permitindo partir dos polígonos já seleccionados e adicionar informação sobre o objecto a extrair, podendo este processo ser repetido quantas vezes o utilizador entender até estar satisfeito com a extracção obtida. Esta operação tem como objectivo melhorar a qualidade dos resultados provenientes da extracção automática de elementos.

A etapa seguinte – extracção de elementos – tem como ponto de partida os elementos de treino digitalizadas pelo analista, resultando na extracção de todos os elementos da imagem que se assemelham aos polígonos introduzidos. O FA conta com informação diversa de *input* para determinar se os *pixels* da imagem constam ou não da classe a extrair. Para tal, o analista selecciona as bandas de *input* que fornecem a informação espectral da imagem, os padrões de representação que fornecem informação espacial, e o algoritmo de aprendizagem a utilizar que procede a cálculos matemáticos para juntar toda a informação que o analista seleccionou como *input*.

O padrão de representação utiliza o contexto espacial, assistindo assim o algoritmo de aprendizagem a distinguir entre duas classes. O padrão de representação espacial é utilizado para classificar cada *pixel* na imagem, determinando se corresponde à classe a extrair tendo em conta as características introduzidas nos elementos de treino. O padrão de representação espacial determina o tamanho (dimensão da janela, em *pixels*) e forma (e.g. *square*, *circle*, *Manhattan*, etc.) da janela que o FA vai utilizar para juntar informação de cada *pixel*. É desta forma que o FA distingue entre e.g. rios e lagos, vias e pavimentos, edifícios de diferentes coberturas, etc.

Durante a fase de digitalização de elementos de treino, o FA posicionou a célula central do padrão de representação espacial seleccionado por cima de cada um dos elementos de treino inseridos pelo analista, recolhendo a assinatura espectral da classe a extrair, associado a cada *pixel* que o padrão e janela permitem observar. Uma vez recolhida a informação sobre os elementos de treino o FA cria um perfil/assinatura de aprendizagem (*learning profile*) que define as características da classe a extrair.

De seguida, o FA posiciona a célula central do padrão de representação espacial seleccionado pelo analista por cima de cada pixel da imagem, e utilizando o perfil de aprendizagem procura *pixels* com características semelhantes aos elementos de treino. Se a informação do *pixel* sob análise corresponder ao perfil de aprendizagem então é classificado como elemento da classe a extrair. Se as características do *pixel* não corresponderem ao perfil é identificado como *background*. São obtidos os resultados da extracção.

Este passo leva-nos a uma terceira etapa: avaliação de resultados. De facto, a automatização da extracção de elementos acarreta alguns problemas: a confusão espectral e geométrica são dois exemplos. Dando exemplos práticos, muitas vezes um terreno de solo descoberto é confundido com telhados muito brilhantes, o mesmo pode acontecer com edifícios com coberturas cuja reflectância se assemelha a trechos viários, etc. O papel do analista neste caso é fundamental, sendo necessário nesta fase proceder a uma análise visual dos resultados da extracção automática de forma a perceber se existem objectos classificados como edifícios que não o são (erro de comissão), ou se por outro lado há edifícios que não foram classificados como tal (erro de omissão), por motivos como existência de uma cobertura de material diferenciado ou em piores condições de conservação.

De seguida, o analista está em condições de aceitar ou rejeitar os resultados obtidos – aprendizagem hierárquica. Em caso de rejeição, o utilizador tem a possibilidade de identificar os objectos que foram classificados correcta e incorrectamente e ainda de adicionar elementos que não foram classificados. Este processo representa uma grande vantagem e uma boa forma de articulação do papel fundamental que o utilizador possui na extracção automática de objectos e no processo de aprendizagem do programa.

Após a identificação dos objectos classificados correcta e incorrectamente o programa procede a uma nova extracção de objectos tendo agora como base os novos critérios introduzidos pelo analista. Caso a nova extracção continue a não ser satisfatória esta operação pode ser repetida quantas vezes o analista entender.

Uma vez aceites os resultados da extracção o próximo passo é o pós-processamento. O FA dispõe de várias ferramentas de pós-processamento: agregação de objectos, conversão para linha ou ponto, suavização de linhas (algoritmo *Bezier* e *Douglas-Peucker*) e tornar objectos rectângulos (*square up*).

A agregação de objectos permite remover e fundir polígonos menores do que a área mínima (em *pixels*) definida pelo analista; converter um polígono para linha ou ponto permite muitas vezes uma análise mais perceptível dos elementos a representar. Por exemplo uma classe de vias é mais inteligível se representada por linhas ao invés de polígonos.

Os algoritmos de suavização de linhas utilizados pelo programa permitem simplificar os polígonos que quando extraídos automaticamente podem possuir grande número de vértices. No caso do algoritmo *Bezier*, este toma como *input* o número de vértices a procurar de cada lado do polígono movendo o vértice do meio de acordo com o polinómio de um grau abaixo do total de número de vértices que estão contidos no polígono (ver Figura 8 A). O algoritmo só altera a posição dos vértices, não os adiciona nem os remove.

Já o algoritmo *Douglas-Peucker* remove vértices que não possam ser ligados numa linha recta dentro de um limiar definido pelo analista (em metros). Quanto maior este limiar maior o número de vértices eliminados (ver Figura 8 B). À semelhança do que acontece com o algoritmo *Bezier* também o *Douglas-Peucker* não elimina vértices.

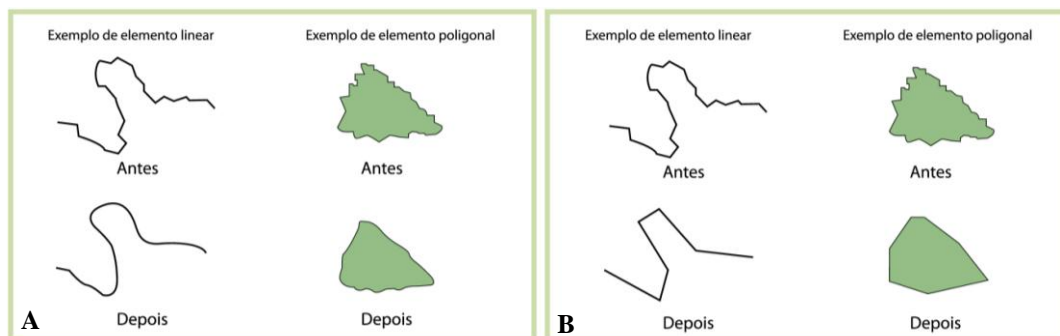


Figura 8 – A: algoritmo *Bezier* antes e após aplicação em linha e polígono; B: algoritmo *Douglas-Peucker* antes e após aplicação em linha e polígono.
Fonte: Adaptado de VLS (2006)

A ferramenta para tornar objectos rectângulos (*square up*) é normalmente utilizada em extracção de edifícios. Tenta, utilizando lados rectos, aproximar o polígono à forma subjacente do edifício. Esta ferramenta torna um polígono irregular (com muitos vértices) o mais rectângulo possível dentro dos limiares definidos. Constitui uma ferramenta de extrema utilidade na generalização cartográfica automática de objectos que naturalmente possuem uma geometria rectangular.

No entanto se por um lado o pós-processamento de dados extraídos automaticamente traz vantagens substanciais, por outro um dos problemas acrescidos é a qualidade e integridade dos dados. Por um lado, ao tornar o polígono o mais próximo possível de um quadrado, tendo em conta os parâmetros definidos, no caso do edificado traz grandes vantagens pois os objectos em estudo *per si* possuem uma geometria muito recta, na maioria dos casos próxima de um quadrado ou rectângulo.

Por outro lado, ao tornar um objecto rectângulo quando este possui uma geometria *per si* bastante irregular, é natural que alguns erros sejam introduzidos. Na maioria dos casos estes erros são de orientação, no exemplo da Figura 9, são visíveis alguns polígonos resultantes da EAE que possuem uma orientação diferente dos polígonos extraídos manualmente por AVI.

Outro tipo de erros que podem ser introduzidos com a operação de *square up*, como por exemplo geométricos. Estes estão relacionados com a geometria do polígono, estando em questão a própria forma em si, que pode ou não ser a mais correcta. Estes erros podem ser avaliados pelo número de vértices ou pelo índice de forma.

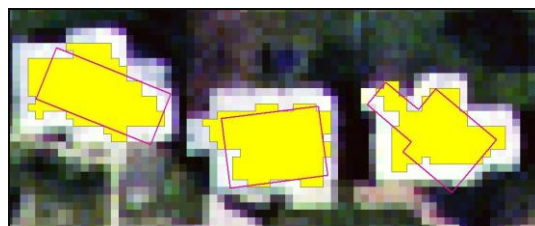


Figura 9 – Exemplo de erro posicional e erro geométrico

São experimentados vários processos de generalização, sendo escolhido o método que permita melhores resultados de visualização dos objectos extraídos, constituindo o resultado final da extracção automática.

Em jeito de conclusão, o FA oferece bastantes vantagens com as suas funcionalidades, entre elas:

- a. Quando comparado com metodologias de extracção manual de elementos, o FA possibilita (condicionado ao tipo de estudo, área e elementos a extrair), uma significativa redução de tempo dispendido na extracção. Um estudo elaborado por O'BRIEN (2003) compara o tempo dispendido na extracção automática de elementos com recurso ao FA com o tempo necessário para a mesma extracção manualmente por análise visual de imagem (Figura 10). As conclusões são óbvias, e mais uma vez bastante animadoras, demonstrando o enorme potencial que o *software* possui para a temática. De facto com base no estudo, podemos aferir que todo o processo de extracção com recurso ao FA (incluindo pós-processamento) é cinco vezes inferior a uma extracção manual. Isto significa que, hipoteticamente, se até agora uma pequena área levaria a um técnico cinquenta minutos a extrair manualmente uma classe de elementos, com recurso ao FA esta mesma área teria um gasto de apenas dez minutos para extracção dos mesmos elementos.

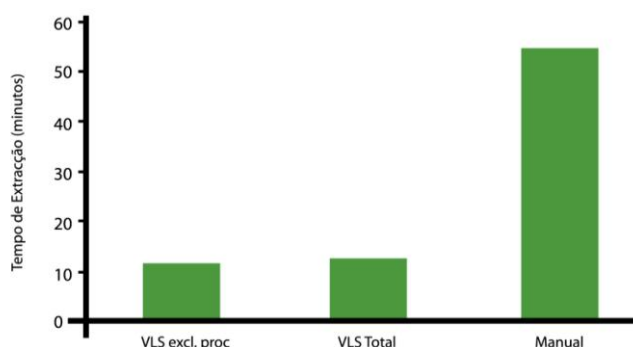


Figura 10 – Comparação do tempo médio para extracção de elementos manualmente em ArcGIS e com recurso ao FA da VLS
Fonte: Adaptado de O'BRIEN, 2003:7

- b. Possui a hipótese de criação de uma metodologia automatizada de extracção de elementos, sem intervenção do analista.

IV. 5. Avaliação da qualidade dos resultados da extracção

O objectivo nesta fase é o de avaliar a conformidade entre os dados classificados de forma automática com recurso ao FA e os dados de referência por AVI. É elaborada uma avaliação com base na exactidão global do mapa, aferindo os erros de omissão e comissão. Esta fase reveste-se de grande importância para a comparação dos dois métodos, bem como para avaliar as funcionalidades do FA concluindo se este apresenta potencialidades e valor para a EAE.

CAPÍTULO V. EXPERIMENTAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE EXTRACÇÃO DE ELEMENTOS

Com a metodologia proposta³² (Capítulo IV), pretende-se alcançar vários resultados que podem ser divididos por pontos. Na primeira fase (ver pp. 64) pretende-se conhecer as necessidades de informação geográfica ao nível municipal, através de uma entrevista realizada a três autarquias. Numa segunda fase constitui-se uma base de dados de informação de referência que será utilizada para comparação com informação extraída automaticamente na fase quatro. O terceiro ponto resulta num conjunto de fotografias de locais que constituíram dúvidas aquando na fase dois, pretendendo apoiar e auxiliar a validação a informação extraída por AVI. O quarto ponto da metodologia proposta, extracção automática de elementos, irá produzir vários resultados, sendo seleccionados os melhores, que serão numa quinta fase avaliados para aferir a sua qualidade temática.

V. 1. Área de estudo e dados espectrais

A área de estudo seleccionada para testar a metodologia apresentada na dissertação localiza-se na zona oriental da cidade de Lisboa (Figura 11). Abrange parte das freguesias do Beato, Marvila, e S. João e ocupa uma superfície de 64 hectares (800 m x 800 m). A escolha desta área deve-se a:

- Constituírem os dados disponibilizados ao nível do projecto GeoSat,
- Proximidade física que possibilita deslocações ao local para reconhecimento da área de estudo,
- Tratar-se de uma área urbana com presença de elementos diferenciados (edificado, vias, arvoredos, solo descoberto), existindo ainda a particularidade de possuir hortas urbanas³³,

³³ Para estudos exploratórios da extracção de área agrícola para a área de estudo ver FREIRE *et al.* (2009).

- Dimensão desta que permite identificar diferentes classes de elementos e, em cada classe, elementos com diferentes características. Por ser uma área reduzida possibilita um tempo aceitável de processamento de toda a imagem.

Consiste numa área geralmente plana com uma encosta voltada a Oeste, possuindo uma ocupação por zonas urbanizadas com diferentes características, sendo de realçar: ocupação por edifícios residenciais unifamiliares (bairro Madre de Deus), edifícios residenciais plurifamiliares, indústria, urbanização linear (ao longo das vias rodoviárias), e edifícios dispersos. De realçar também a existência de espaços abertos (com e sem vegetação) e como foi já referida a presença de zonas com uso agrícola (hortas urbanas).

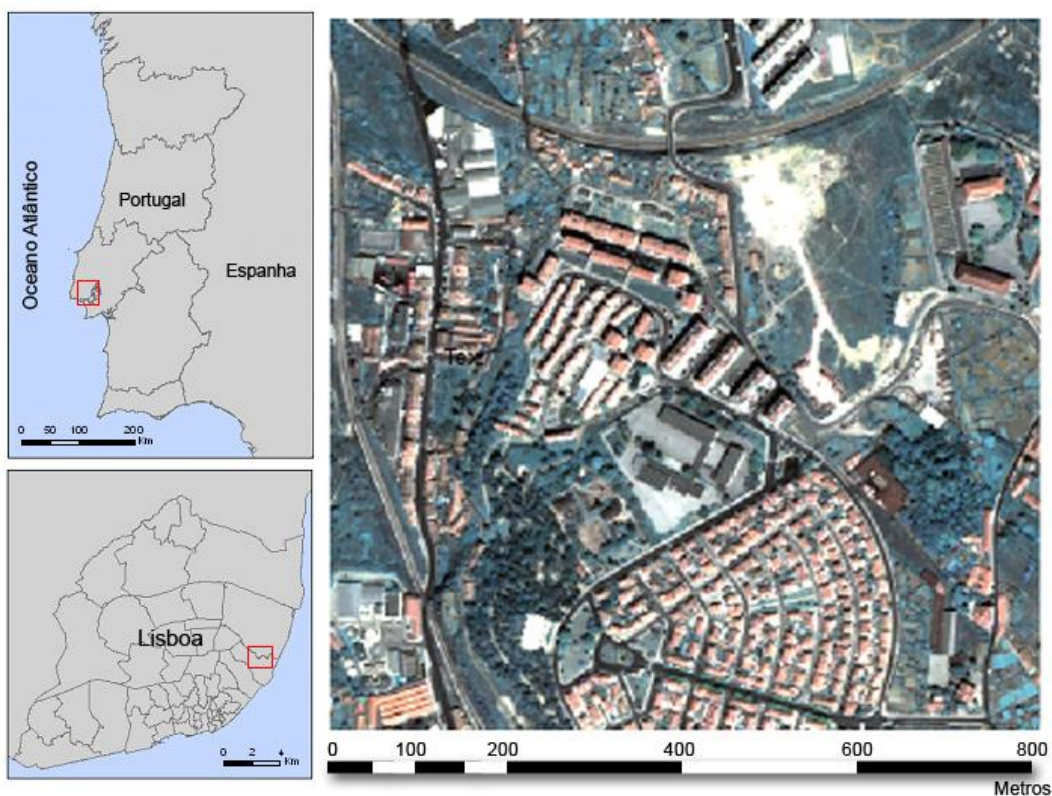


Figura 11 – Área de estudo: Bairro Madre de Deus, em Lisboa, e zona envolvente

No que concerne aos dados espectrais utilizados na presente dissertação, estes foram cedidos pelo LNEC no âmbito do projecto GeoSat, sendo utilizados igualmente ao nível do projecto. Foram usados dados de uma imagem QuickBird adquirida em 14 de Abril de 2005 às 11h32, e georreferenciada no sistema de coordenadas UTM 29N (WGS84). A imagem não possui cobertura nebulosa contudo, devido às da hora e mês de aquisição, verifica-se a presença de sombras projectadas por edifícios e árvores.

Estes dados incluem quatro bandas multi-espectrais (resolução de 2,4 m) e uma banda pancromática (0,61 m), com uma resolução radiométrica de 11 bits.

Com vista a combinar a informação multi-espectral com a resolução espacial da banda pancromática, procedeu-se a uma fusão IHS no software ArcGIS 9.2. Esta operação possibilita uma melhoria nas condições de visualização facilitando a análise visual de imagem através da separação da *“color information in ways that correspond to the human visual system's response”* (NASR *et al.*, 2002), permitindo preservar a amplitude dinâmica de valores de forma a suportar classificação espectral.

V. 2. Análise Visual de Imagem

A partir dos resultados do inquérito, iniciou-se a fase de digitalização manual das classes consideradas mais relevantes pelas autarquias entrevistadas: edificado e vias. Esta fase do trabalho, desenvolvida no âmbito da tarefa 3³⁴ do projecto GeoSat, consistiu na digitalização de todos elementos as classes seleccionadas para o estudo presentes na imagem QuickBird (ver Tabela 5). Para o presente caso de estudo apenas são relevantes as classes: edificado – telha laranja, e vias.

Classe	Descrição elementos	Número de polígonos	Tempo de digitalização
Edificado (mancha)	Telha laranja		
	Exclusão de contentores e barracões de apoio	555	20 horas
Vias	Vias		
	Exclusão de passeios	6	7 horas

Tabela 5 – Classes digitalizadas a partir de análise visual de imagem para o projecto GeoSat

A escolha destas duas classes deve-se a vários factores: aos resultados da entrevista sobre a necessidade e utilização de informação geográfica a 3 autarquias da AML, que aferiram como elementos de maior relevância para os serviços os edifícios e vias; devido ao facto de este ser um estudo inicial e limitado em tempo e espaço, pensa-se a partir de estudos já efectuados (ver Capítulo III. 3) que estas classes ofereçam

³⁴ Aquisição e estruturação de informação espacial que possa servir de referência no processo de avaliação da qualidade da geo-informação extraída directamente das imagens de satélite de muito alta resolução espacial.

melhores condições para alcançar resultados satisfatórios a partir de extracção automática de objectos e consequentemente a conclusões legítimas.

Para a classe do edificado foram digitalizados os contornos dos telhados e de anexos (telha laranja). Excluídos foram os contentores e barracões de apoio que existem na área, dada a presença de indústrias ainda activas.

Dentro da classe do edificado foi tomada a decisão de não incluir no estudo os edifícios com outras coberturas, sendo seleccionado apenas o tema de edifícios de telha laranja. Esta decisão é consequência dos maus resultados conseguidos a partir de uma breve experimentação da metodologia de extracção automática da classe do edificado de outra cobertura. De facto, estes maus resultados advêm da confusão espectral desta com outras classes, como por exemplo as vias. Deste modo, a opção de exclusão do edificado de outra cobertura do estudo não pressupõe que, em estudos futuros mais aprofundados, não seja ensaiada uma metodologia com a qual se obtenham melhores resultados para esta classe.

Na classe das vias foram digitalizados os troços viários existentes, perceptíveis ou não na imagem de satélite, com a assistência de informação auxiliar (saídas as terreno e *Google maps*). Esta metodologia levou a que troços viários que correspondem à verdade no terreno, na imagem estejam cobertos por sombra ou copas de árvores, podendo dificultar a tarefa de extracção automática de informação com recurso ao FA.

A digitalização de polígonos para cada tema é um processo moroso, rigoroso e exaustivo. A informação de referência proveniente desta operação servirá de base de comparação com os resultados da extracção automática por parte do FA, daí a importância atribuída à mesma.

A utilização de informação auxiliar reveste-se também de extrema importância, pois vai auxiliar a validação da análise visual e, por conseguinte, melhorar a qualidade da informação de referência. A Figura 12 traduz visualmente a utilidade do recurso a informação auxiliar, neste caso *maps.live.com*, para validação da informação de referência digitalizada pelo analista. Na imagem QuickBird há zonas em que é muito difícil diferenciar edifícios de habitação, de residências, de anexos, no entanto com o apoio das imagens do *Google maps* é possível delinear com maior precisão os limites dos telhados do edificado. Mais concretamente, na imagem de satélite é possível verificar que o conjunto de edifícios à direita formam um pátio nas traseiras no qual não

é possível distinguir entre anexos, contentores, barracões, bem como identificar nitidamente árvores, etc. Com o auxílio ao *Google maps* estas dúvidas têm maior possibilidade de serem verificadas e validadas, sendo que no caso da Figura 12 ajuda claramente na identificação de elementos e na distinção entre diversas tipologias.



Figura 12 – Utilização de informação auxiliar para validação de informação de referência. A: imagem QuickBird, B: imagem do Google maps.

Fonte cartográfica: Google maps (2009)

Na classe do edificado foi considerado pertinente delimitar apenas os contornos dos telhados, excluindo fachadas e sombras. Este facto permite uma comparação com imagens captadas noutras datas com características diferenciadas, e.g. hora e sombra.

A Figura 13 representa o resultado final da informação de referência para a classe do edificado (telha laranja) e vias.

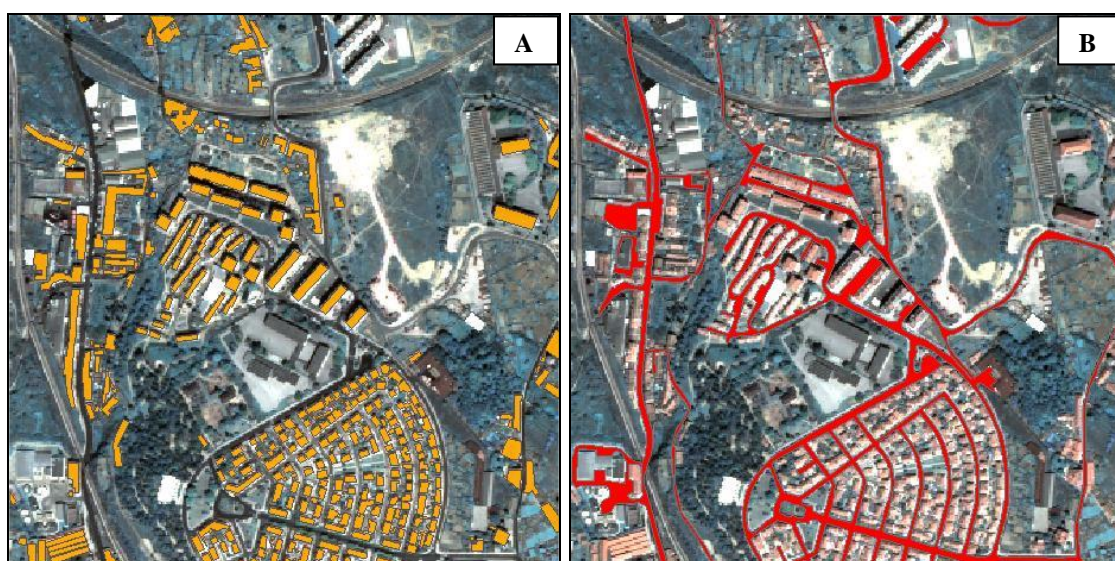


Figura 13 – Informação de referência: A: edificado, B: vias

V. 3. Trabalho de campo

O objectivo da terceira fase é auxiliar a validação da informação de referência digitalizada por AVI. Para tal, realizaram-se várias saídas de campo a três áreas de interesse para o projecto GeoSat: Baixa Pombalina, Alta de Lisboa e Bairro Madre de Deus.

Contudo, para a presente dissertação apenas se considera a área de estudo do Bairro Madre de Deus. Foram realizadas duas saídas de campo, com o intuito de reconhecimento da área de estudo. Foram recolhidas fotografias (Figura 14) com o objectivo de posteriormente em gabinete estas constituírem informação auxiliar de suporte à validação da informação de referência digitalizada por AVI pelo analista. Assim sendo, esta contém menos erros de omissão de comissão, pois em situação de dúvida quanto à classificação de determinado objecto a confirmação no terreno constitui uma mais-valia.



Figura 14 – Exemplo de fotografias obtidas no Bairro Madre de Deus.

V. 4. Processamento: Extracção automática de elementos com recurso ao FA

A extracção automática de elementos para a área de estudo revelou-se difícil, devido à heterogeneidade espacial que possui. É uma área de grande complexidade espacial, pois é caracterizada por vários tipos de edifícios (unifamiliares, plurifamiliares, em banda, isolados), zonas verdes (relvado, árvores), área agrícola (hortas urbanas), eixos (viários e ferroviários), indústria (armazéns e contentores), etc. A existência de vários elementos e diferentes tipologias coloca desafios ao processo de EAE. A probabilidade de aumentar a confusão entre elementos em EAE, aumenta quanto maior for a quantidade de elementos diferenciados constituintes da imagem.

A metodologia adoptada nesta fase é idêntica à descrita no Capítulo IV. 4., sendo dividida em duas fases:

- A. Extrações de edificado – são desenvolvidas três extrações com o objectivo de seleccionar a melhor metodologia para extração automática de edifícios.
- B. Extração de vias – são realizadas três extrações para aferir, dentro das metodologias desenvolvidas, qual a que produz melhores resultados para extração automática de vias.

A Figura 15 representa o fluxograma detalhado de processos do FA, descritos de forma geral no Capítulo IV. 4., e desenvolvidos de forma mais aprofundada presente Capítulo.

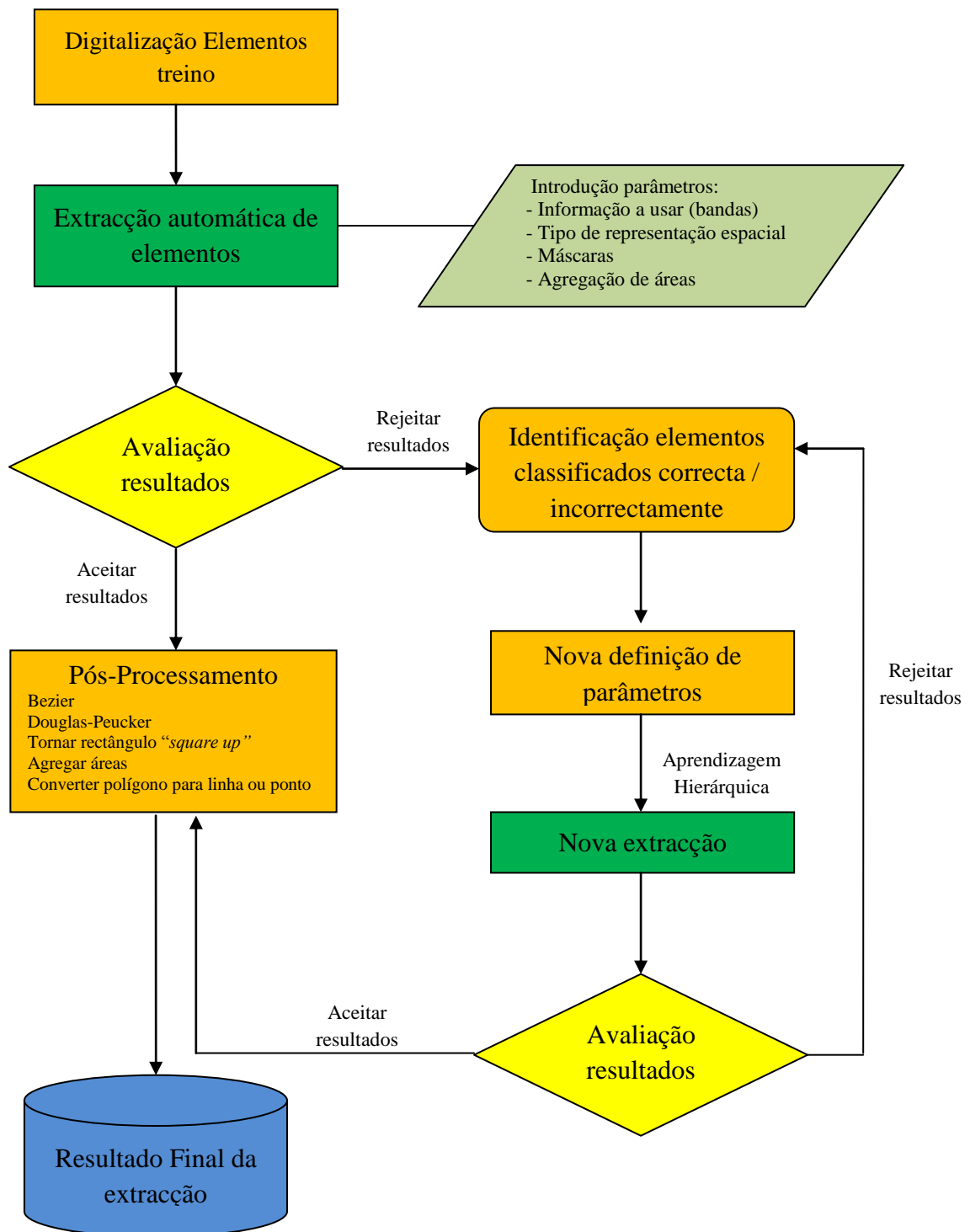


Figura 15 – Fluxograma detalhado dos processos do FA

V. 4.1. Extracção de edificado

Para o edificado foi efectuado um ensaio com três extracções³⁵. Para cada extracção foi definido um conjunto de parâmetros com vista a alcançar a melhor extracção. A Tabela 6 resume alguns parâmetros (que diferenciam consoante a extracção) do primeiro ensaio para extracção de edifícios de telha laranja.

Ensaio	Extracção	Elementos de treino	Total polígonos extraídos	Representação espacial	Min. <i>pixels</i> agregados
1º	1ª	20	267	Manhattan 5	75
	2ª	30	275	Manhattan 5	75
	3ª	30	231	Manhattan 5	75

Tabela 6 – Extracções e parâmetros do primeiro ensaio edifícios telha laranja

A metodologia geral desenvolvida para a extracção de edificado, e aplicada às três extracções efectuadas, respeita o disposto na Figura 16. O primeiro passo consiste em efectuar três extracções (com parâmetros diferentes), que dão origem a três resultados intermédios, proveniente da aplicação dos parâmetros de extracção, sujeitos posteriormente a uma fase de aprendizagem hierárquica para melhorar e refinar os resultados obtidos. Quando alcançados resultados satisfatórios são testados e aplicados algoritmos de pós-processamento, constituindo o resultado final do ensaio. Esta metodologia é utilizada para as três extracções.



Figura 16 – metodologia geral para a extracção de edificado

³⁵ De realçar que foram realizadas extracções paralelas com o objectivo de testar outros parâmetros de extracção (padrão de representação espacial, número de *pixels* agregados, etc.), sendo na presente dissertação apenas apresentados os três melhores resultados.

▪ Primeira extracção para o Edificado

O primeiro passo da EAE consiste na digitalização de elementos de treino pelo utilizador. Esta fase demonstrou ser um processo bastante expedito devido ao conhecimento da zona estar já bastante consolidado, tanto pelas saídas de campo como pela digitalização manual de informação de referência. Para a classe do edificado – telha laranja – foram digitalizados 20 polígonos (10 minutos) tentando-se seleccionar todas as tipologias presentes na imagem: edifícios em banda, moradias, edifícios isolados. Houve o cuidado de digitalizar os elementos de treino de forma dispersa pela imagem, para representar de forma mais rigorosa as características inerentes à realidade da área de estudo. A Figura 17 ilustra a distribuição dos elementos de treino.



Figura 17 – Elementos de treino para a primeira extracção

A partir dos elementos de treino inseridos o FA apreende as características dos elementos que se pretende extrair, e classifica toda a imagem. Para tal, são definidos os parâmetros para a extracção do elemento. No caso os parâmetros utilizados foram:

- *Feature selection = Building feature*
- Número de bandas = 3
- Melhoramento de contraste
- Máscara = exclusão de vias

- Padrão de representação espacial = Manhattan 5
- Algoritmo de aprendizagem = *Approach 1*
- Número mínimo de *pixels* agregados = 75

Inicialmente é seleccionado o tipo de elemento a extrair, especificamente neste caso os objectos a extrair são edifícios tendo sido seleccionada a categoria de *Building feature*, pois permite extrair edifícios comerciais e residenciais de qualquer tamanho.

De seguida é indicada a informação a usar que para a imagem QuickBird consistiu em três bandas espectrais. Não foi utilizado o *resample* factor, que determina a redução ou aumento da resolução, devido à imagem que se está a utilizar possuir grande resolução espacial, sendo que nestes casos é aconselhável não utilizar *resample*, excepto em casos de estudos de uso do solo ou de grandes massas de água.

Foi aplicado um melhoramento de contraste à imagem (*histogram stretch*), permitindo ao FA extrair melhores resultados mesmo em imagens com pior contraste entre elementos.

É ainda possível utilizar máscaras para definição de zonas de interesse e de exclusão. Neste caso utilizou-se uma máscara devido à existência de informação de referência anteriormente extraída. Assim sendo, excluíram-se as vias de forma a evitar confusão entre as duas classes. No entanto, numa situação em que não existam dados de referência não é possível usar máscaras para excluir elementos considerados não relevantes para a extracção.

Quanto ao tipo de representação espacial, este permite fazer uso do contexto espacial, e a sua escolha é fundamental ao determinar a relação do *pixel* com os seus vizinhos. Para a extracção de edifícios foi utilizado o padrão de representação espacial Manhattan 5. Este é usualmente utilizado para extracção de grandes elementos de cobertura de solo, como vegetação, zonas húmidas, superfícies impermeáveis, bem como para o edificado (e.g. residencial ou comercial) e grandes massas de água (e.g. oceano, lagos). No caso foi aplicado para extracção de edificado (VLS, 2006b).

No que concerne às opções de aprendizagem, o algoritmo de aprendizagem seleccionado foi a primeira abordagem (*approach 1*), recomendada para a maioria das extracções. Existe também a opção de agregar áreas de forma a obter elementos

(*clusters*) com um número mínimo de *pixels*. O número mínimo de *pixels* agregados permite remover todos os polígonos que são mais pequenos do que o número mínimo definido ou, fechar espaços vazios em polígonos que sejam mais pequenos que o limiar definido. Para a primeira extracção o número mínimo de *pixels* definidos foi de 75 *pixels*, existindo por isso nos resultados da classificação apenas elementos com dimensão superior a esta.

A metodologia experimentada resulta em 311 polígonos, visível na Figura 18, consistindo no resultado intermédio da extracção.



Figura 18 – Resultado da primeira extracção de edificado

Após ter sido efectuada a extracção procedeu-se a uma inspecção visual de resultados, com vista a verificar se os resultados são satisfatórios. No caso considerou-se pertinente proceder a uma fase de aprendizagem hierárquica por se considerar que os resultados podem ser melhorados e para refinar os parâmetros de extracção (para que a extracção seguinte produza resultados mais rigorosos).

A fase de aprendizagem hierárquica permite mitigar ruído (falsos positivos) e adicionar elementos que não foram classificados. O processo permite, através de tarefas que podem ou não ser repetidas, estreitar a tarefa de classificação em sub-problemas mais específicos e bem definidos. Esta tarefa reveste-se de grande importância pois permite refinar e adicionar características de *input* para o programa nos elementos de treino (Figura 19).

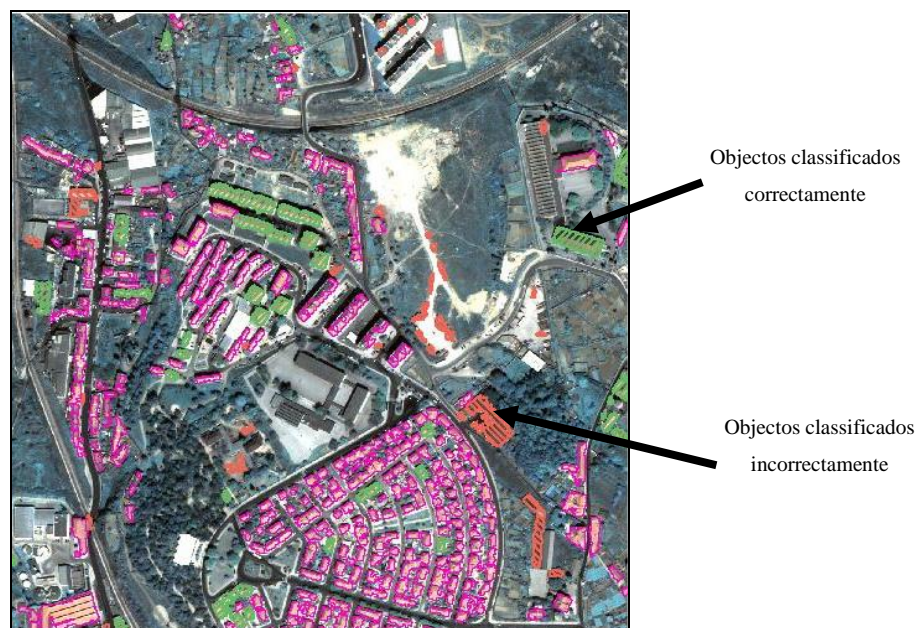


Figura 19 – Identificação de objectos classificados correcta e incorrectamente na extracção de edifícios de telha laranja

Apesar de serem adoptados critérios muito rigorosos aquando da digitalização dos elementos de treino, ao utilizar processos automáticos de extracção de elementos, a classificação da imagem é independente do analista, levando a erros de omissão e comissão. Isto significa que existem edifícios que não são classificados como tal, e casos em que outros objectos que podem ter comportamentos espectrais e geometria semelhante a um edifício são assim erradamente classificados. Este facto dá-se devido ao programa computacional não ter a capacidade que o cérebro humano possui de conhecer *a priori* outras características de um objecto, como por exemplo, na área de estudo, a composição material dos telhados com reflectâncias distintas, levando à confusão espectral destes com outros elementos resultando em elementos classificados incorrectamente. Dão-se situações em que contentores ou pavimentos são classificados como edifícios de telha laranja, sendo a fase da aprendizagem hierárquica importante para a identificação e correcção destas situações.

Caso a extracção continue a não ser satisfatória a operação deve ser repetida várias vezes, contudo não esqueçamos que o objectivo principal do estudo e da matéria em si é tornar o mais automático possível os procedimentos para extracção de informação geográfica, não fazendo por isso sentido proceder a inúmeras avaliações da classificação automática introduzindo novos critérios, mas sim uma avaliação muito rigorosa que permita resultados satisfatórios com o mínimo de procedimentos de aprendizagem hierárquica possíveis.

O analista, após identificados os elementos classificados correcta e incorrectamente procede a uma nova extracção. Para esta, são introduzidos (caso o analista entenda) novos parâmetros de classificação, no caso, foi seleccionado o padrão de representação espacial Bull's Eye 4, com uma janela de 27 *pixels*, e o número mínimo de *pixels* agregados manteve-se nos 75. Este padrão é usualmente utilizado na extracção de elementos individuais tais como árvores, ruas, caminhos, etc. (VLS, 2006b).

De realçar que em extracções subsequentes alterar a representação espacial pode ajudar a refinar os resultados obtidos, assim sendo, após a primeira extracção utilizando um padrão mais geral como o Manhattan 5, utilizou-se o padrão Bull's Eye 4 para eliminar o ruído. Como é visível na Figura 20 o padrão Bull's Eye 4 (A) fornece informação adicional à ferramenta *Learner* sobre a área circundante do telhado que o padrão Manhattan 5 (B) não disponibiliza (VLS, 2006b).

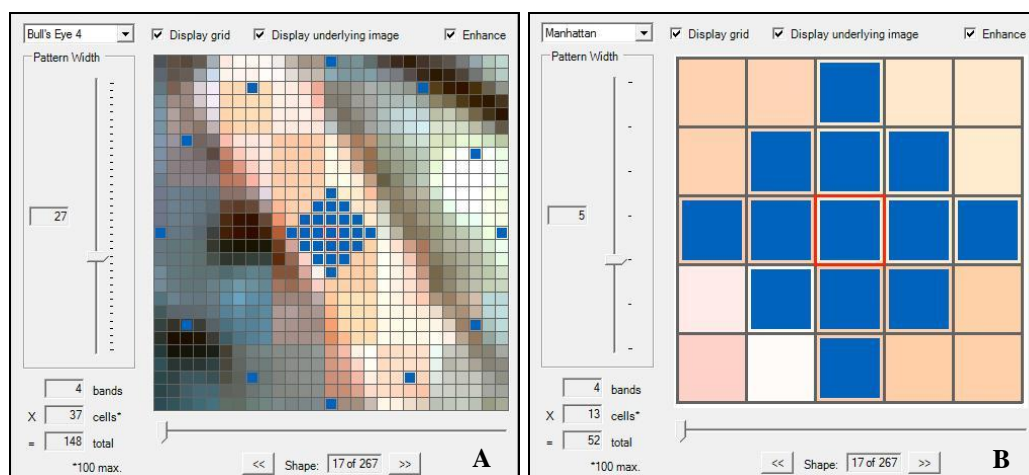


Figura 20 – A: padrão espacial Bull's Eye 4; B: padrão espacial Manhattan 5

Fonte: FA, 2009

Com estes parâmetros foram extraídos 267 polígonos sendo os resultados visíveis na Figura 21. É necessário fazer uma inspecção visual dos resultados de forma a verificar se estes são satisfatórios ou se pelo contrário é necessário repetir o procedimento de avaliação/revisão dos objectos classificados correcta e incorrectamente bem como identificar objectos que não foram classificados. Consideraram-se os resultados satisfatórios, existindo alguns erros de omissão tendo sido corrigidos grande parte dos erros de comissão que a extracção continha, não sendo por isso tomado como

necessário proceder a uma nova fase de aprendizagem hierárquica e a uma subsequente nova extracção.



Figura 21 – Resultados da extracção após aprendizagem hierárquica

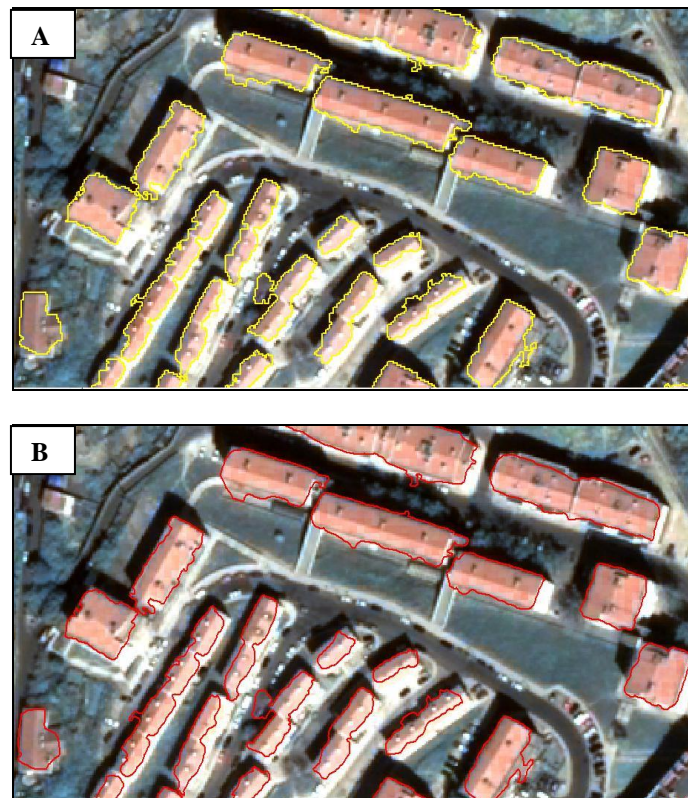
A tarefa seguinte consiste no pós-processamento da informação geográfica extraída automaticamente de forma a estar em condições para ser integrada numa base de dados municipal. O primeiro passo foi testar a agregação de polígonos, cujos resultados para a classe a extrair não foram satisfatórios. O critério utilizado foi a agregação de polígonos com menos de 150 *pixels*, resultando no caso na eliminação de pequenos polígonos que representam edifícios isolados ou armazéns de apoio a actividades que também devem ser representados (ver Figura 22). O resultado desta agregação traduz-se em 244 polígonos. No entanto considerou-se mais relevante utilizar os resultados extraídos sem agregação de polígonos, de forma a evitar situações de omissão de elementos.



Figura 22 – A amarelo exemplo de objectos eliminados pela agregação de polígonos, a rosa polígonos resultantes da agregação

De seguida foram testados os algoritmos de pós-processamento. No caso foram utilizados: *Bezier*, *Douglas-Peucker*, e tornar objectos rectângulos (*square up*). Os resultados obtidos diferem bastante (ver Figura 23), concluindo-se que:

- O algoritmo *Bezier* é inadequado para a generalização de edifícios, devido à deslocação de vértices, os resultados obtidos traduzem-se em polígonos ligeiramente curvados nas arestas. Ora na generalização de objectos como o edificado o pretendido é precisamente, devido às características inerentes ao objecto, tornar os polígonos extraídos o mais rectos possíveis de forma a assemelharem-se com a geometria real dos edifícios;
- O algoritmo *Douglas-Peucker* liga em linha recta os vértices que ultrapassam o limiar definido (no caso 2 metros), deixando de ser uma representação rigorosa do objecto;



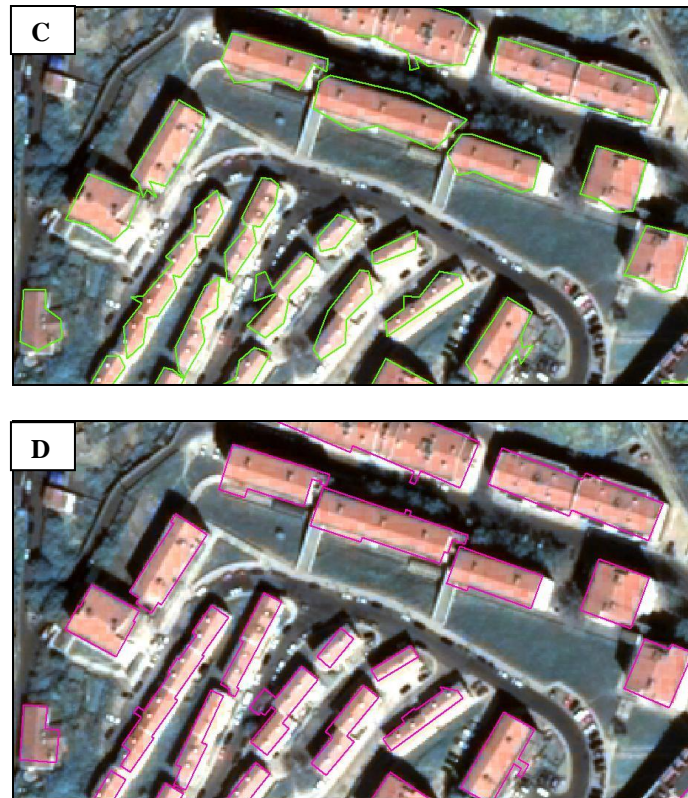


Figura 23 – A: resultado da extracção automática sem agregação; B: algoritmo Bezier; C: algoritmo Douglas-Peucker; D: tornar objectos rectângulos (*square up*).

- O melhor resultado foi alcançado com o algoritmo que torna objectos rectângulos (*square up*), que ao tornar, dentro dos limiares definidos, o mais rectângulo possível os polígonos aproxima-os da geometria real dos edifícios.

A partir de uma comparação visual dos resultados da melhor generalização com a informação de referência adquirida por AVI, é possível verificar que há uma forte concordância entre as duas. Os resultados da extracção são bastante similares, como é visível na Figura 24, levando a concluir que a metodologia seguida para esta área de estudo e para a extracção de edifícios produz bons resultados.

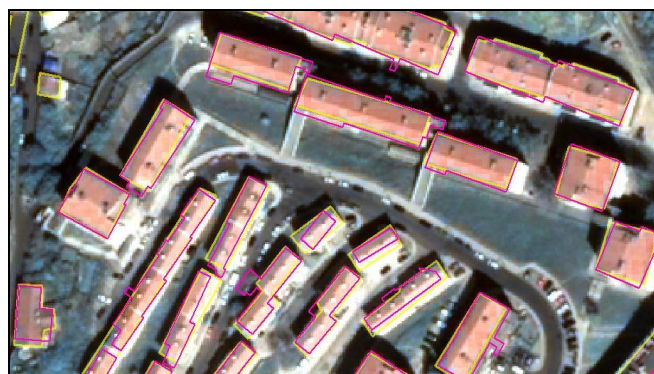


Figura 24 – a rosa: extracção após aplicação de quadratura de objectos; a amarelo: informação de referência

▪ Segunda Extracção para o Edificado

Na segunda extracção a metodologia seguida é semelhante à descrita na extracção anterior, as alterações em relação aos procedimentos do ensaio anterior estão na digitalização de elementos de treino. Na primeira etapa – digitalização de elementos de treino – foram digitalizados 30 polígonos (15 minutos) seguindo os critérios rigorosos já descritos no primeiro ensaio. A Figura 25 representa a distribuição de elementos de treino na área de estudo.



Figura 25 – Elementos de treino para a segunda extracção do edificado

A partir dos elementos de treino inseridos o FA apreende as características dos elementos que se pretende extrair, e classifica toda a imagem. Para tal, são definidos os parâmetros para a extracção do elemento. No caso os parâmetros utilizados foram:

- *Feature selection = Building feature*
- Número de bandas = 3
- Melhoramento de contraste
- Máscara = exclusão de vias
- Padrão de representação espacial = Manhattan 5
- Algoritmo de aprendizagem = *Approach 1*
- Número mínimo de *pixels* agregados = 75

A metodologia experimentada resulta em 279 polígonos, visível na Figura 26, consistindo no resultado intermédio da extracção.



Figura 26 – Resultado da segunda extracção de edificado

No que concerne à identificação de elementos classificados correcta e incorrectamente – fase de aprendizagem hierárquica – os resultados são visíveis na Figura 27 A. Após uma reclassificação utilizando como *input* as características adicionadas com a identificação dos elementos classificados correcta e incorrectamente, utilizou-se para nova extracção, o padrão de representação espacial Bull's Eye 4 e manteve-se o número mínimo *pixels* agregados (75) resultando na extracção de 275 polígonos (ver Figura 27 B).

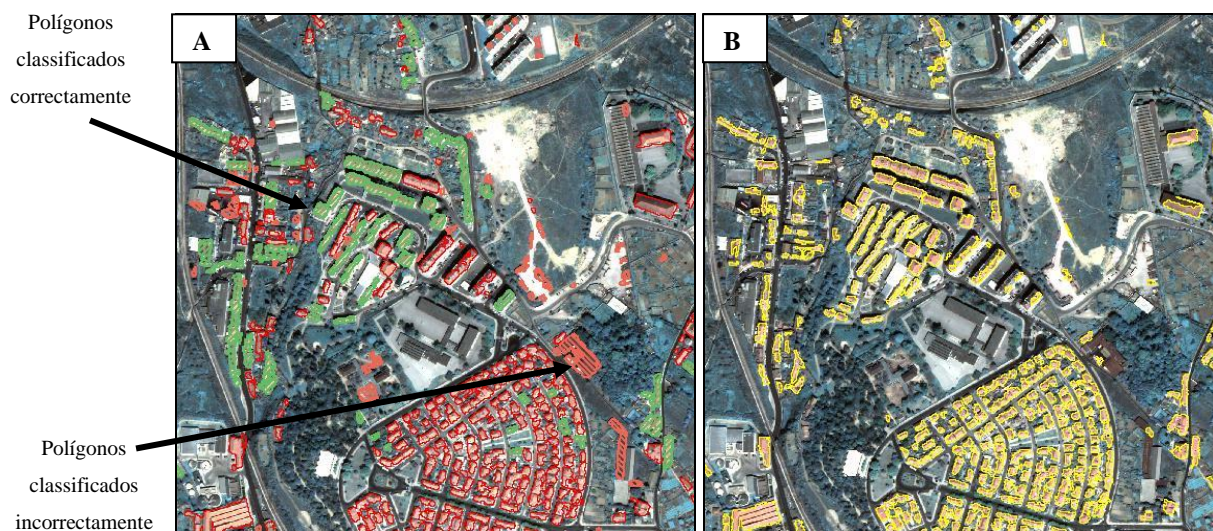


Figura 27 – A: identificação de elementos classificados correcta e incorrectamente; B: resultado da extracção após aprendizagem hierárquica

Após a extracção resultante da aprendizagem hierárquica fez-se uma nova inspecção visual dos resultados obtidos. Considerou-se que os mesmos são satisfatórios não sendo visualmente identificáveis muitos elementos excluídos da classificação ou falsos positivos, podendo passar-se à próxima etapa: pós-processamento dos resultados da extracção automática.

De seguida, procedeu-se à agregação de polígonos com número mínimo de *pixels* inferior a 150. Contudo, à semelhança do que sucedeu no primeiro ensaio a agregação de polígonos resultou na eliminação de objectos que representam edifícios (ver Figura 28), sendo por isso considerado mais correcto utilizar os resultados sem agregação de polígonos. Na Figura 28 pode observar-se a laranja os resultados após agregação de polígonos com número mínimo de *pixels* inferior a 150, e a amarelo os resultados provenientes da extracção automática sem agregação de polígonos. É evidente que o processo de agregação de polígonos resulta numa eliminação de elementos que pertencem à classe do edificado.



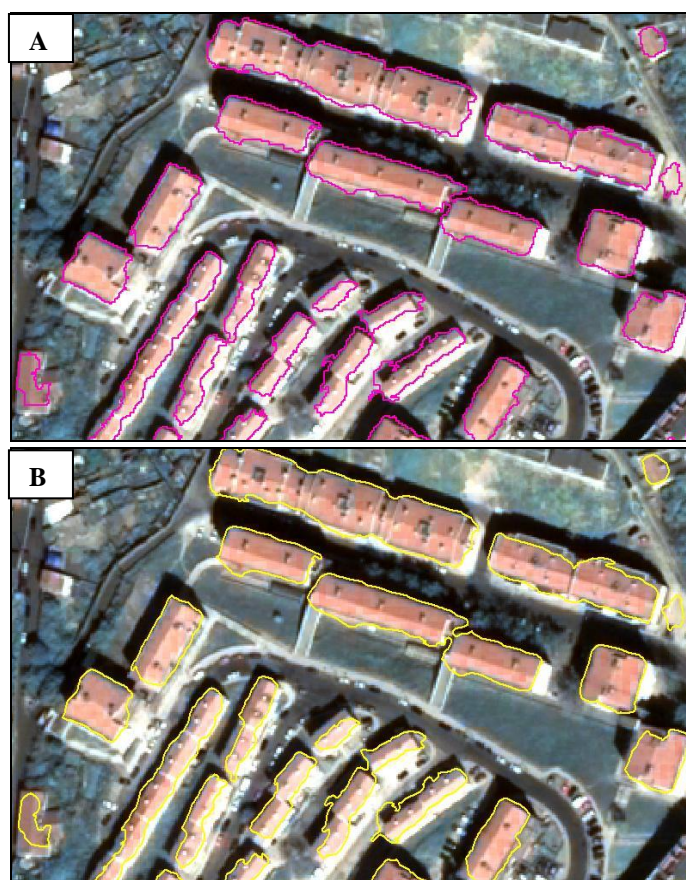
Figura 28 – a amarelo: resultados da extracção automática; a laranja: resultados com agregação de polígonos

Os algoritmos de generalização aplicados – *Bezier*, *Douglas-Peucker* e tornar objectos rectângulos (*square up*) – produziram os seguintes resultados (ver Figura 29). As ilações a tirar são em tudo semelhantes às concluídas no primeiro ensaio:

- O algoritmo *Bezier* (ver Figura 29 B) demonstrou ser inadequado para generalização de objectos naturalmente de geometria recta;
- O algoritmo *Douglas-Peucker* trata-se de um algoritmo que devido à forma como opera torna o elemento extraído demasiado rígido (ver Figura 29 C), deixando de ser uma representação rigorosa do objecto real;

- O algoritmo para tornar objectos rectângulos (*square up*) comprovou ser o algoritmo que produz resultados generalizados mais próximos da realidade, comparativamente aos restantes algoritmos experimentados (ver Figura 29 D). Por este motivo considerou-se o resultado generalizado por este algoritmo como resultado final da segunda extracção.

Ao analisar a Figura 29 é possível aferir as diferenças dos resultados produzidos pela aplicação de cada um destes algoritmos. Visualmente, é perceptível que o algoritmo para tornar objectos rectângulos (*square up*) produz resultados mais próximos da realidade. Desta forma, estes resultados apesar de possuírem erros geométricos e posicionais estão mais aptos a integrar uma base de dados municipal. Naturalmente, não sendo o objectivo da presente dissertação a criação de metodologias para integrar informação geográfica em bases de dados municipais, que esta afirmação não passa de uma hipótese não tendo sido efectuados estudos que a comprovem.



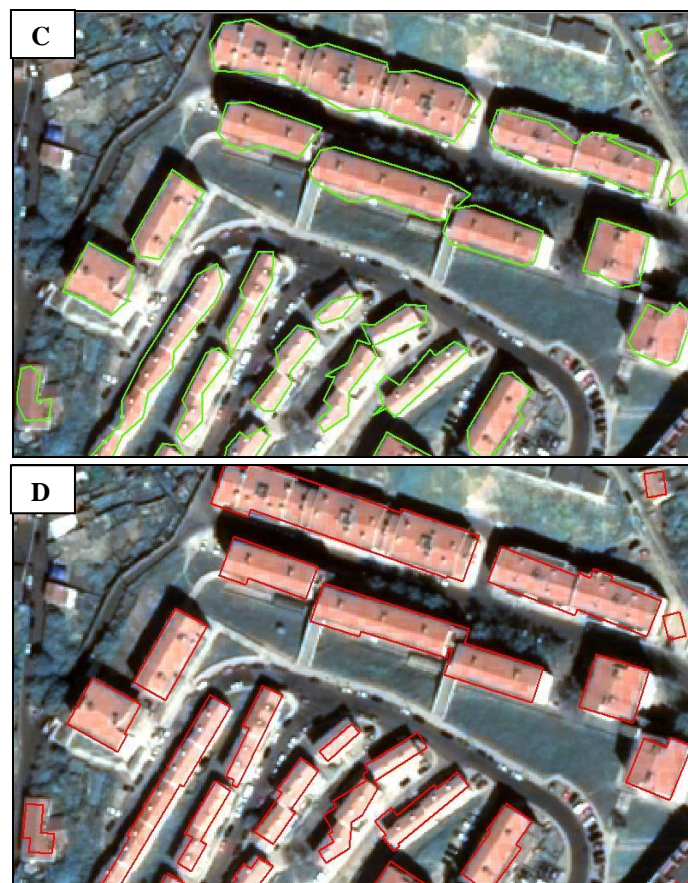


Figura 29 – A: resultado da extracção automática sem agregação; B: algoritmo Bezier; C: algoritmo Douglas-Peucker; D: quadratura de objectos.

A partir de uma comparação visual dos resultados finais da segunda extracção com a informação de referência extraída por AVI, é possível aferir que apesar de erros geométricos e de orientação, bem como erros de omissão e de comissão, existe concordância entre as duas (discutido no Capítulo V. 5.), como é visível na Figura 30.

A metodologia para a primeira extracção foi a mesma que a adoptada na segunda, variando apenas dos elementos de treino inseridos, sendo por isso possível afirmar que a selecção do padrão de representação espacial Manhattan 5 e um número mínimo de *pixels* agregados de 75 constitui, para a área de estudo, uma boa hipótese para extrair edifícios para a área de estudo. A variação dos elementos de treino não produziu grandes alterações nos resultados finais das extracções, visto que em ambas as extracções o número de elementos digitalizados foi semelhante e o houve grande rigor na sua digitalização.



Figura 30 – a vermelho: extracção após aplicação de quadratura de objectos; a laranja: informação de referência

▪ Terceira Extracção para o Edificado

Na terceira extracção é pretendido aferir a importância da fase de aprendizagem hierárquica. Foram utilizadas os elementos de treino digitalizadas na segunda extracção (Figura 25), utilizando a mesma metodologia, dando origem a resultados idênticos (Figura 31). A alteração introduzida face à metodologia seguida na segunda extracção é relativa à fase de aprendizagem hierárquica introduziu, em que a identificação de falsos positivos e elementos excluídos foi menos rigorosa, tendo sido identificados menos de metade de polígonos classificados correcta e incorrectamente (Figura 31 A).

Para além de aferir a importância da fase de aprendizagem hierárquica, esta tarefa³⁶ pretende demonstrar em que medida cortes de tempo em execução de tarefas (no caso aprendizagem hierárquica) têm efeito nos resultados obtidos.

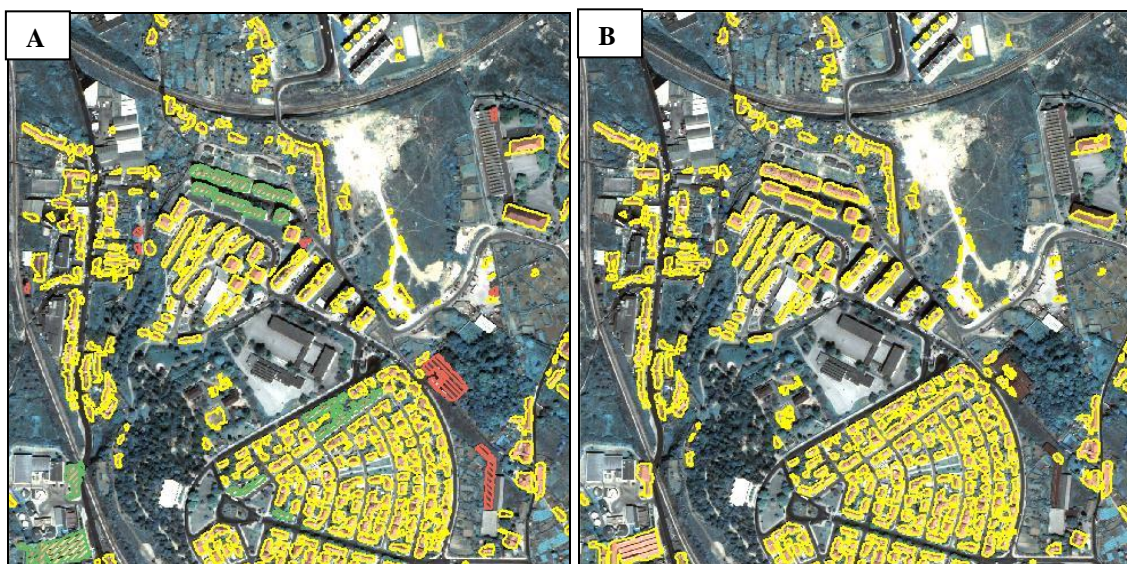


Figura 31 – A: processo de aprendizagem hierárquica; B: resultados da aprendizagem hierárquica

De facto, ao analisar os resultados – 231 polígonos (Figura 31 B) – verifica-se que uma fase de aprendizagem hierárquica com menos polígonos identificados correcta e incorrectamente não produz outputs de pior qualidade. Pelo número de polígonos extraídos podemos pensar que o resultado intermédio (da aprendizagem hierárquica) elimina maior número de erros de comissão, devido à diminuição de elementos extraídos, que pode significar uma eliminação de elementos falsos positivos. Claramente nesta fase esta afirmação não passa de uma hipótese, tendo que ser

³⁶ Ver Anexo III referente à metodologia adoptada na 3ª extracção para edificado.

comprovada com o calculo de métricas de avaliação da qualidade temática do mapa produzido (Capítulo V. 5).

No que concerne ao pós-processamento, devido à etapa de aprendizagem hierárquica ter sido menos criteriosa procedeu-se a uma agregação de polígonos com menos de 150 *pixels*. Este passo justifica-se pela subsistência de pequenos polígonos falsos positivos (e.g. armazéns, barracões de apoio), que devido a não terem sido assinalados como erradamente classificados na fase de aprendizagem hierárquica necessitam agora de ser eliminados. Devido à grande maioria destes polígonos ser de reduzida dimensão a ferramenta de agregação produz bons resultados.

Visto ter ficado comprovado nos ensaios anteriores que para o pós-processamento do edificado o algoritmo que mais se adequa é o de tornar objectos rectângulos (*square up*) neste ensaio apenas foi aplicado este algoritmo ao resultado da extracção. A Figura 32 permite comparar os resultados alcançados no terceiro ensaio com a informação de referência adquirida por AVI. Os resultados apesar de alguns erros de comissão e geometria, são bastante positivos existindo na maioria dos casos uma correspondência bastante fidedigna entre os resultados obtidos com a forma e posição real do objecto.



Figura 32 – a vermelho: resultado da aplicação do algoritmo *square up*; a amarelo: informação de referência

V. 4. 2. Extracção de vias

Para extrair a classe das vias foram efectuadas quatro extracções, cada uma deles com parâmetros diferentes (Tabela 7), com o propósito de alcançar os melhores resultados possíveis. A metodologia adoptada para extracção de vias é semelhante à discutida no Capítulo IV. 4. e à aplicada para extracção do edificado.

A metodologia geral desenvolvida para a extracção de vias (Figura 33) é constituída por um ensaio com quatro extracções, em que diferem os parâmetros de extracção.

Ensaio	Extracção	Elementos de treino	Total polígonos extraídos	Representação espacial (padrão e janela)	Máscara	Min. pixels agregados
1º	1ª	15	40	Bull's Eye 2-61	-	900
	2ª	15	86	Bull's Eye 4 - 1	-	500
	3ª	15	104	Bull's Eye 4-35	Área agrícola, edif. outra cobertura	500

Tabela 7 – Extracções e parâmetros do primeiro ensaio vias.

O primeiro passo consiste em efectuar uma extracção em que o analista introduz os elementos de treino e define os parâmetros de extracção, constituindo um resultado intermédio. A partir deste, são identificados os elementos classificados correcta e incorrectamente dando origem a uma nova extracção e consequentemente a outro resultado intermédio. Há uma nova etapa de aprendizagem hierárquica – a adição de elementos – resultando nos dados finais que quando pós-processados constituem o resultado final das extracções e do ensaio.



Figura 33 – metodologia geral para a extracção de vias

De seguida são apresentadas a primeira e segunda extracção devido a estas terem sido realizadas tendo como base os mesmos elementos de treino.

▪ Primeira e Segunda Extracção para as Vias

Os princípios da metodologia desenvolvida para a extracção de vias são semelhantes à seguida para extracção de edifícios de telha laranja, de forma resumida: digitalização dos elementos de treino, extracção automática, avaliação de resultados, aprendizagem hierárquica, nova classificação e avaliação de resultados, pós-processamento, e comparação de resultados com a informação de referência.

À semelhança da extracção de edifícios de telha laranja, também para extrair vias a fase de digitalização dos elementos de treino se reveste de grande importância. O rigor com que as mesmas representam as características da classe a extrair é determinante para a qualidade dos resultados obtidos. A Figura 34 representa os elementos de treino digitalizados para a extracção da classe vias – 15 polígonos (5 minutos).



Figura 34 – Elementos de treino primeira extracção vias

Para extrair elementos lineares os parâmetros a utilizar são distintos dos parâmetros utilizados para extracção de edifícios. Neste caso na primeira extracção foram extraídos 43 polígonos com os seguintes parâmetros:

- *Feature selection = Wide linear feature*
- Número de bandas = 3
- Melhoramento de contraste
- Padrão de representação espacial = Bull's Eye 2 janela 61 *pixels*
- Algoritmo de aprendizagem = *Approach 1*
- Número mínimo de *pixels* agregados = 900

Na primeira extracção o tipo de elemento a extrair foi identificado *a priori* como *wide linear feature* devido ser um ensaio em que se pretende extrair vias com mais de 10 metros.

O padrão de representação espacial utilizado foi Bull's Eye 2 com uma janela de 61 *pixels*. O padrão Bull's Eye 2 é usualmente utilizado na extracção de largos elementos lineares, superiores a 10 metros tais como ruas, auto-estradas, rios, parques de estacionamento, etc. (VLS, 2006a). Foi definida uma agregação de polígonos com menos de 900 *pixels* devido à classe a extrair (vias) possuir regra geral grandes dimensões. Foi aceite o valor que o FA sugere por *default* para este tipo de elementos.

Os resultados da primeira extracção são visíveis na Figura 35 A.

Na segunda extracção foram extraídos 39 polígonos com os parâmetros:

- *Feature selection = Wide linear feature*
- Número de bandas = 3
- Melhoramento de contraste
- Padrão de representação espacial = Bull's Eye 4 janela 21 *pixels*
- Algoritmo de aprendizagem = *Approach 1*
- Número mínimo de *pixels* agregados = 500

O padrão de representação espacial utilizado foi Bull's Eye 4 com uma janela de 21 *pixels*. O padrão Bull's Eye 4 é usualmente utilizado na extracção de elementos individuais tal como árvores e objectos lineares como ruas e caminhos. Foi definida

uma agregação de polígonos com menos de 500 *pixels*, devido à confusão com edifícios com outras coberturas. Os resultados são visíveis na Figura 35 B.

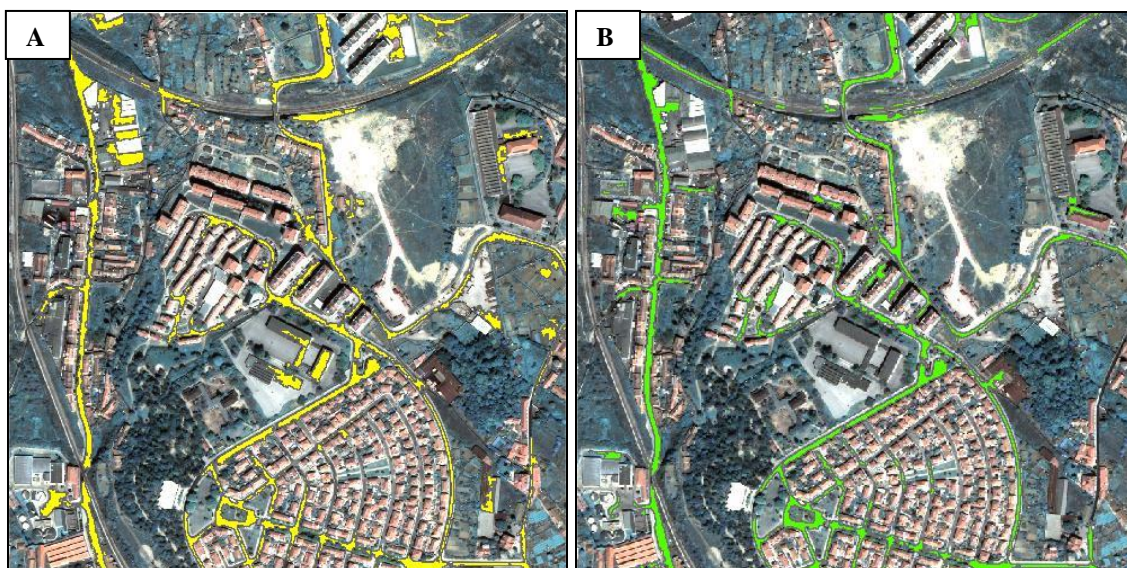


Figura 35 – resultados: A: Primeira extracção; B: Segunda extracção

O procedimento seguinte consiste na identificação de polígonos classificados correcta e incorrectamente, os resultados são visíveis na Figura 36. Esta fase exigiu grande rigor produzindo resultados bastante satisfatórios, visto terem sido eliminados quase todos os polígonos erradamente classificados como vias. Nesta fase foram extraídos para a primeira extracção 22 polígonos e para a segunda 31 polígonos.

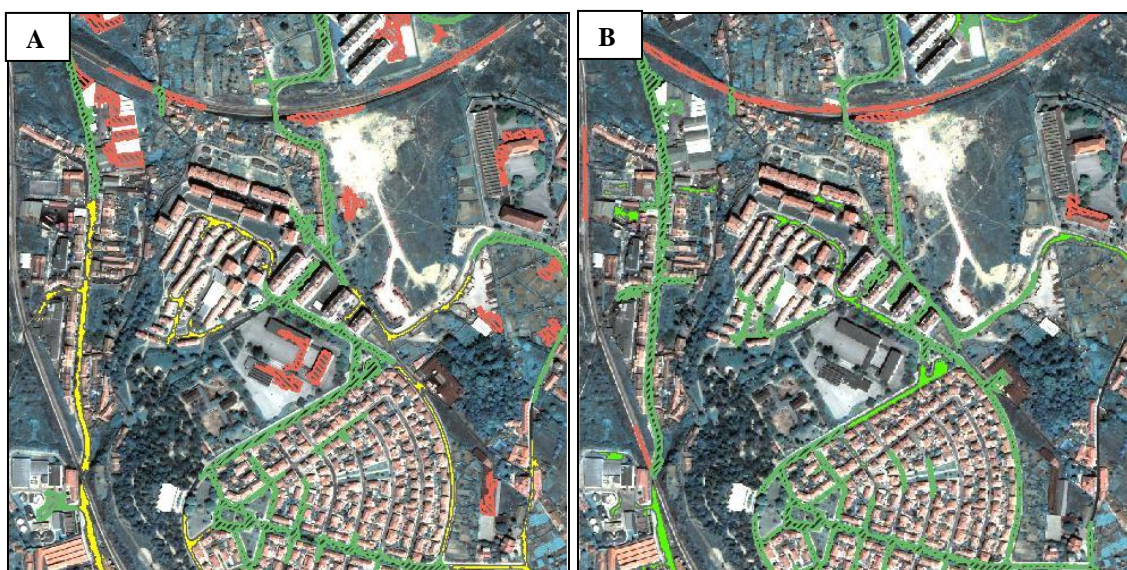


Figura 36 – aprendizagem hierárquica: A: 1ª extracção; B: 2ª extracção

A metodologia desenvolvida para extracção de vias introduz uma inovação face à seguida para extracção do edificado, após a fase de aprendizagem hierárquica foi adicionado outro procedimento: adição de elementos (Figura 37). Esta fase foi já descrita na metodologia (Capítulo IV. 4.), sendo que sumariamente, se caracteriza pela hipótese de digitalizar, após aprendizagem hierárquica, elementos que são na realidade vias mas que não foram assim considerados pelo FA, isto elementos que foram omitidos.

Após esta adição de elementos o FA procede a uma nova extracção tendo em conta as novas características introduzidas pelos elementos digitalizados nesta fase. Esta operação reveste-se de grande importância pois permite uma maior participação do analista na extracção automática. Como já foi referido o processo de extracção é semi-automático sendo em muitos casos fundamental o discernimento do analista. A possibilidade de adição de elementos que não foram classificados como vias é de grande utilidade, facilitando o processo de classificação da imagem visto não ter que se proceder a uma nova digitalização de áreas de treino para alcançar melhores resultados.

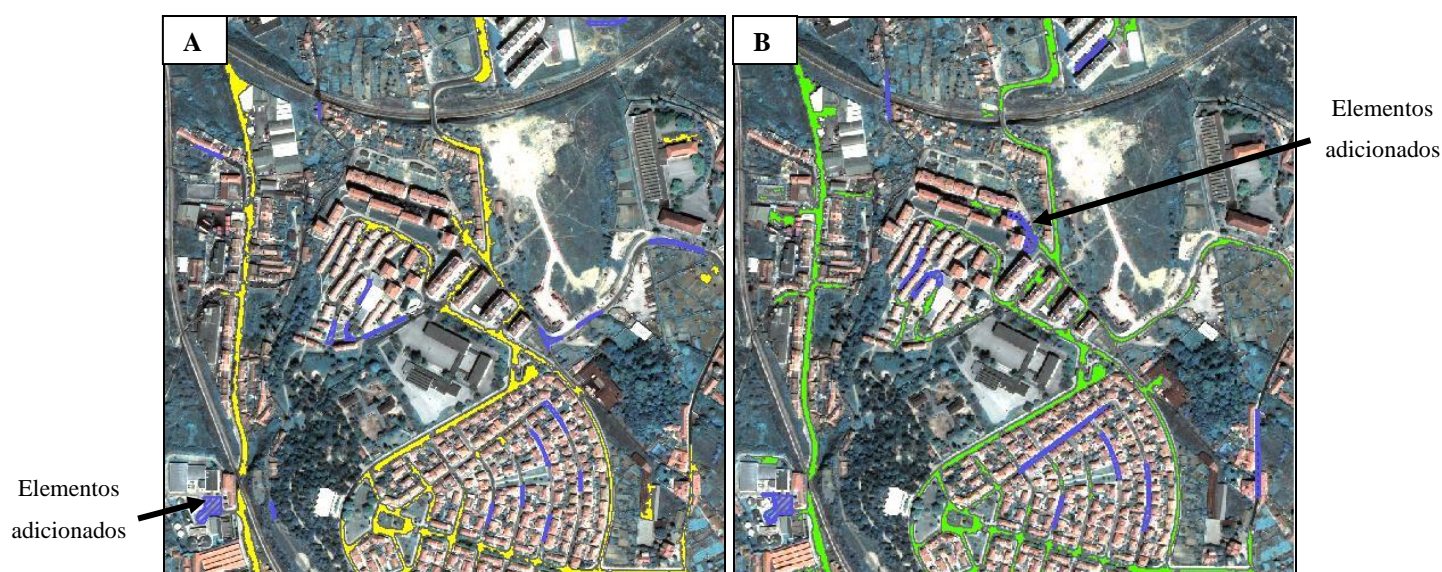


Figura 37 – adição de elementos: A: 1ª extracção; B: 2ª extracção

Caso os resultados obtidos não sejam os pretendidos é possível proceder a uma nova fase de aprendizagem hierárquica. Em ambas as extracções³⁷, após a classificação tendo em conta os novos critérios introduzidos pelos elementos adicionados, foi

³⁷ Ver Anexo IV referente à metodologia adoptada na 1ª extracção as vias

necessário proceder a uma nova identificação de objectos classificados correcta e incorrectamente nos resultados da nova extracção (Figura 38). Este procedimento pode ser repetido até se alcançarem os resultados pretendidos.



Figura 38 – aprendizagem hierárquica – adição de elementos: A: 1ª extracção; B: 2ª extracção

Não alterando os parâmetros anteriormente definidos, procedeu-se a uma nova extracção tendo em conta as características de três fases de aprendizagem hierárquica: primeira fase de identificação de elementos classificados correcta e incorrectamente, segunda fase de adição de elementos, e terceira fase de identificação de elementos classificados correcta e incorrectamente. Os resultados alcançados são positivos para a segunda extracção. A primeira extracção apresenta muitos erros de omissão, tendo extraído um total de 40 polígonos. Na segunda extracção foram classificados 86 polígonos existindo menos erros de omissão, persistindo no entanto alguns troços de via por classificar (Figura 39).

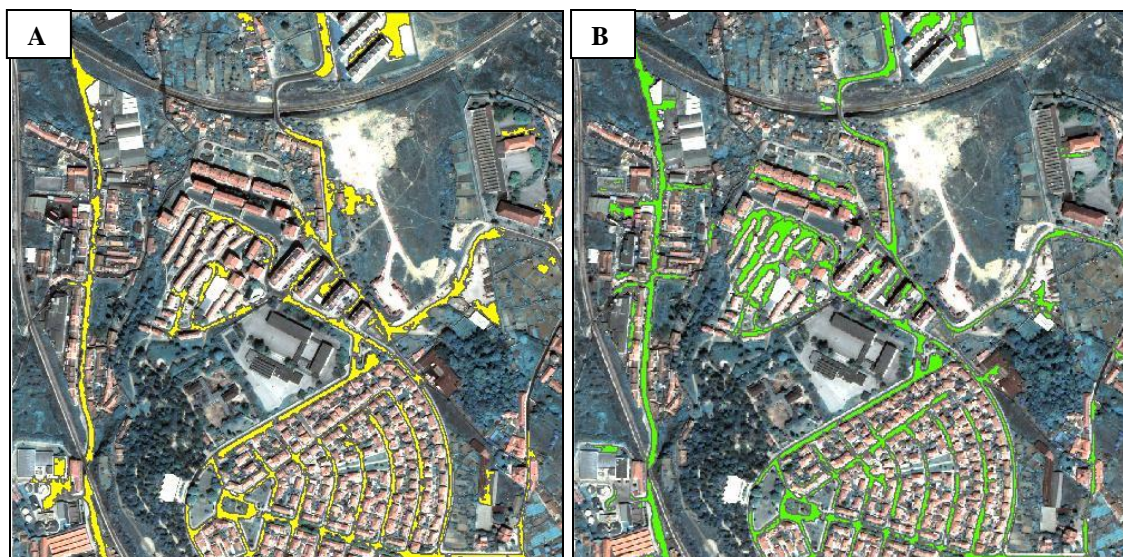


Figura 39 – resultado final A: 1ª extracção; B: 2ª extracção

A geometria dos polígonos extraídos na maioria dos casos não é ideal devido a (Figura 40 A):

- Existência de elementos sobrepostos à via, e.g. passadeiras e veículos, que por possuírem um comportamento espectral diferente provocam confusão tornando o processo de extracção da via e distinção de objectos mais difícil.
- Existência de sombras dos edifícios que se estendem por cima das vias também contribui para a diminuição de qualidade dos resultados da extracção, mais uma vez por dificultar a separação entre via e não via.

Estes factos contribuem para que a via extraída não seja um elemento linear contínuo, tendo inúmeras interrupções devido à existência destes elementos. Neste sentido, no que concerne ao pós-processamento, contrariamente ao que seria de esperar a aplicação do algoritmo *Bezier* para as vias não produziu resultados satisfatórios. De facto, suaviza a linha do polígono introduzindo melhorias (Figura 40 B), continuando no entanto a não ser o processo de generalização mais adequado.

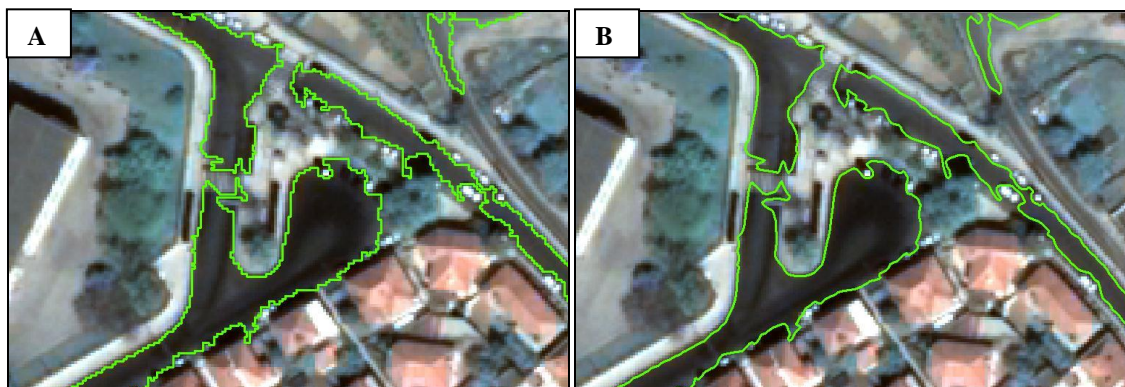


Figura 40 – pormenor da 2ª extracção: A: resultado sem generalização; B: algoritmo *Bezier*

Como alternativa procedeu-se à conversão da representação de polígono para linha. Visto que uma via é um elemento naturalmente linear faz sentido representá-la sob a forma de linha. De facto, o problema da interrupção nos polígonos derivada dos elementos subjacentes à mesma, com a transformação de polígono para linha desaparece. Há uma grande simplificação da representação da classe e uma melhoria substancial na visualização e percepção dos resultados (Figura 41).

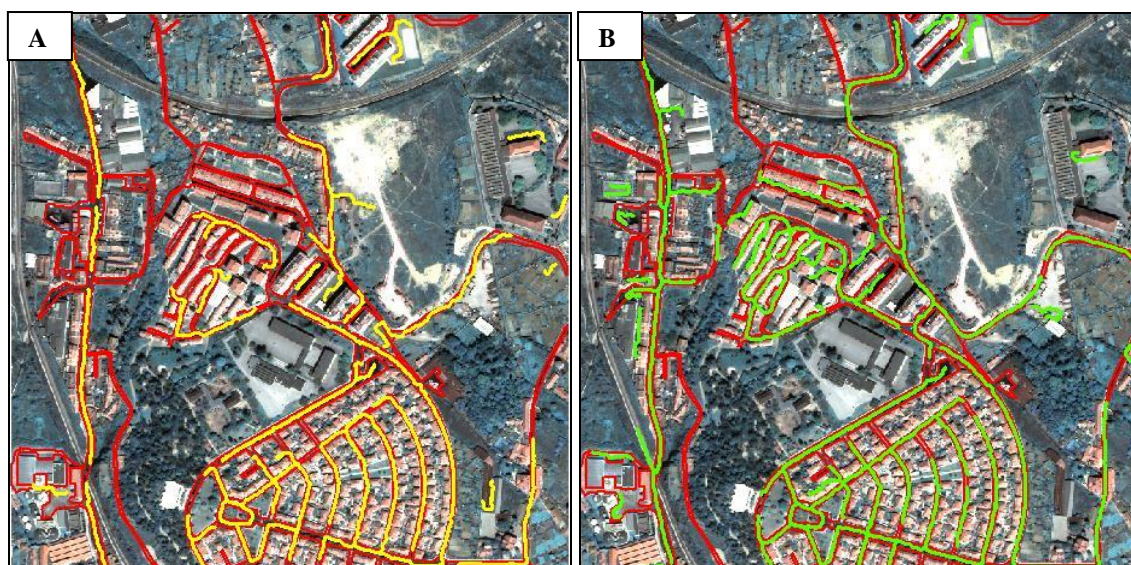


Figura 41 – Comparação do resultado final (em linha) com a informação de referência (vermelho): A: 1ª extracção; B: 2ª extracção

▪ Terceira Extracção para Vias

Para a terceira extracção da classe das vias foram digitalizados 15 novos polígonos (5 minutos) tentando-se seleccionar o máximo de características específicas da classe. Tentou-se também digitalizar de forma dispersa pela imagem os elementos de treino, de forma a representar de forma mais fiel as características inerentes à realidade da área de estudo.

Foram extraídos 39 polígonos tendo sido utilizados os seguintes parâmetros:

- *Feature selection = Wide linear feature*
- Número de bandas = 3
- Melhoramento de contraste
- Padrão de representação espacial = Bull's Eye 4 janela 35 *pixels*
- Algoritmo de aprendizagem = *Approach 1*
- Número mínimo de *pixels* agregados = 500

Foi utilizado o padrão de representação espacial Bull's Eye 4 com uma janela de 35 *pixels* e um mínimo de *pixels* agregados de 500. De realçar que este resultado é o mesmo que o adquirido na 2ª extracção de vias, tendo variado os elementos de treino e a dimensão da janela do padrão de representação espacial. Assim sendo, é pertinente considerar que um conjunto de elementos de treino rigorosos e a selecção de um bom método de extracção são determinantes para conseguir bons resultados. Pode também afirmar-se que, para o caso em análise, a variação da dimensão da janela do padrão de representação espacial não é determinante nem produz grandes alterações nos resultados de uma extracção com o mesmo método.

Utilizou-se uma máscara para excluir a área agrícola e os edifícios de outra cobertura, digitalizados na fase de constituição de informação de referência, com vista a diminuir a confusão que se verificou entre ambas as classes com a classe das vias em extracções experimentais. Os resultados são muito satisfatórios, sendo no entanto necessário proceder à fase de aprendizagem hierárquica (Figura 42) de forma a refinar as propriedades características da classe.

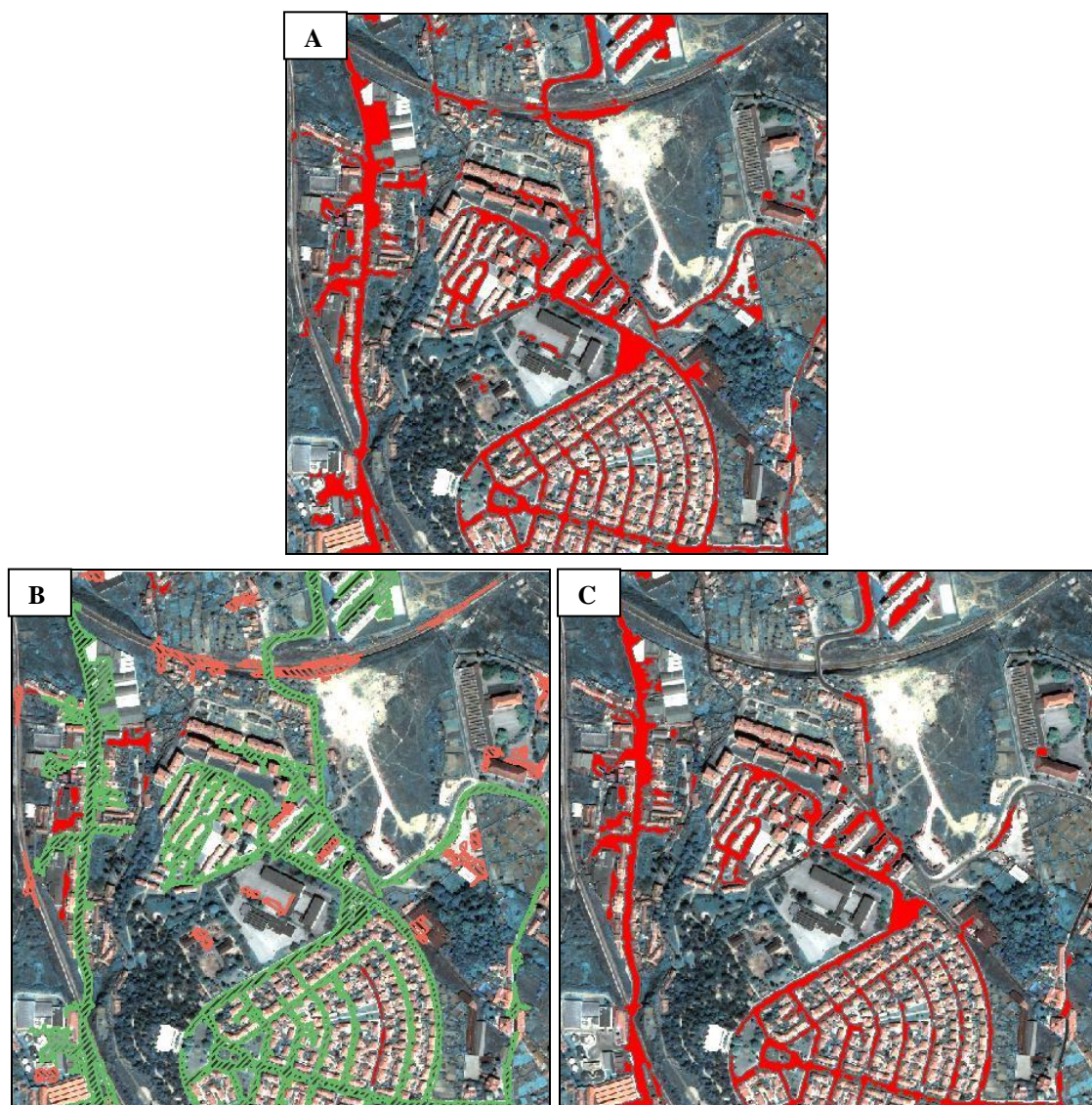


Figura 42 – A: Resultado extracção vias; B: Aprendizagem Hierárquica, C: Resultado da Aprendizagem Hierárquica

O resultado após identificação dos elementos classificados correctamente e falsos positivos é satisfatório, constituindo por isso o primeiro *output* da terceira extracção³⁸. São extraídos um total de 83 polígonos subsistindo, contudo, troços de via por classificar. A razão pela qual é tão difícil extrair vias, persistindo na grande maioria das vezes elementos por classificar, reside na própria constituição material da via. Muitas vezes a via possui buracos, remendos, revestimentos diferentes, que a tornam numa autêntica “manta de retalhos”, tornando muito difícil a sua diferenciação de outros objectos que podem ter características espectrais semelhantes.

³⁸ Ver Anexo V referente à metodologia adoptada na terceira extracção para as vias

A partir desse resultado é efectuada uma adição de elementos. Esta operação permite adicionar manualmente objectos que o FA não classificou (Figura 43 A). Os resultados obtidos pela adição de elementos não foram os pretendidos sendo por isso repetida a operação de aprendizagem hierárquica (Figura 43 B). Procedeu-se por isso a uma aprendizagem hierárquica em três etapas: a primeira em que foram identificados elementos classificados correcta e incorrectamente, uma segunda fase em que foram adicionados elementos que foram excluídos da classificação seguida de uma nova fase de aprendizagem hierárquica em que elementos adicionados são classificados como correctos ou incorrectos.

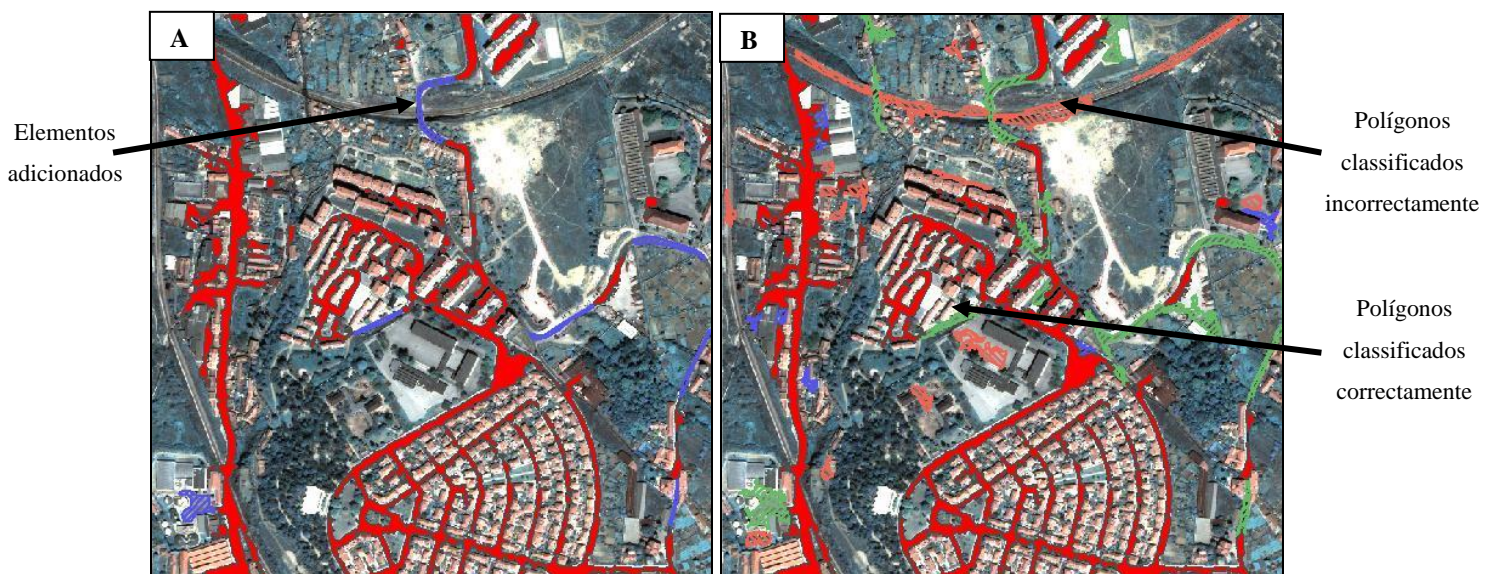


Figura 43 – A: adição de elementos; B: aprendizagem hierárquica sobre adição de elementos

Após a fase de aprendizagem hierárquica procedeu-se a uma avaliação visual dos resultados. A partir das parcelas de treino introduzidas (15 polígonos) e do contexto espacial, foi possível identificar vias com reduzidos erros de omissão, e obtendo uma geometria razoável. Os resultados são considerados positivos (Figura 44 A), correspondendo por isso ao *output* da terceira extracção para as vias.

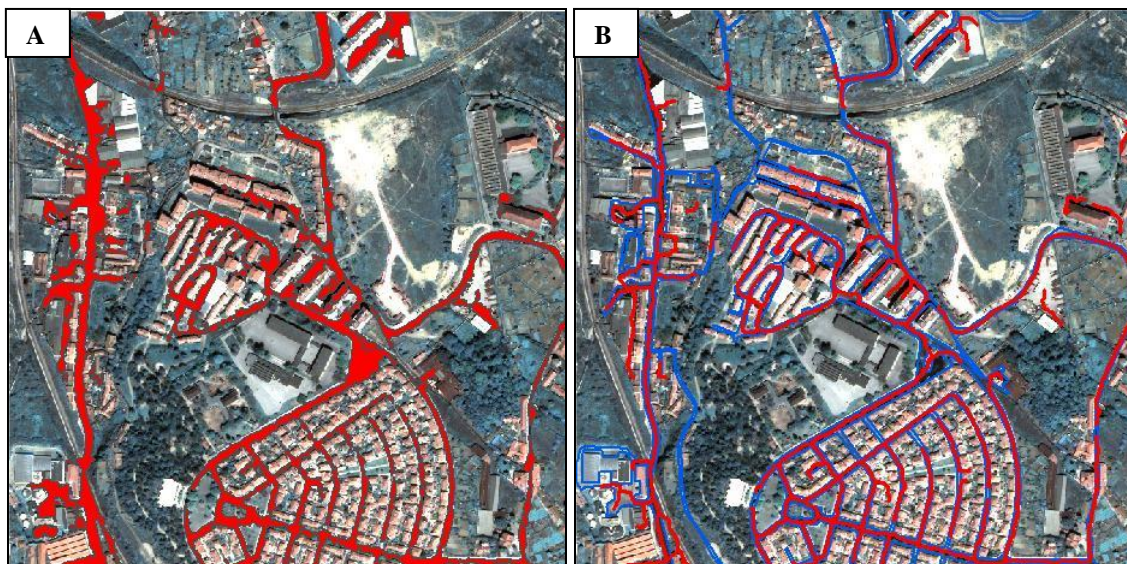


Figura 44 – A: Resultado final da 2ª extracção da classe vias; B: Comparação informação de referência (azul) com o resultado da 3ª extracção – linha

No que concerne ao pós-processamento, foi adoptada a metodologia do ensaio anterior: conversão de polígonos para linha.

Como é visível na Figura 44 B em que a azul é representada a informação de referência e a vermelho os resultados da terceira extracção pós-processados, a informação digitalizada manualmente abrange elementos (vias) que não estão contidos na extracção automática. Este facto deve-se (como já foi referido no primeiro ensaio de extracção de vias) à heterogeneidade da própria composição material da via/asfalto que dificulta a classificação de todos os elementos que se inserem na classe vias.

V. 5. Avaliação da Qualidade Temática dos Resultados da Extração Automática de Elementos

A avaliação da qualidade de uma classificação é uma área que tem vindo a receber, atenção acrescida dos especialistas em Detecção Remota. Historicamente a habilidade para produção de mapas temáticos com base em dados de Detecção Remota sobre a cobertura do solo excedeu de longe a capacidade de se quantificar a sua exactidão. Este facto impede por vezes a aplicação de técnicas para classificações automáticas, mesmo quando estas se mostram mais eficientes do que as técnicas tradicionais de recolha de informação geográfica. Contudo, esta operação reveste-se de tal importância que os autores LILLESAND et al (2004:586) defendem que “*a classification is not complete until its accuracy is assessed*”. De facto, proceder a uma classificação e tirar conclusões baseadas em análise visual da qualidade em detrimento da aplicação de métricas estatísticas que quantificam a exactidão global de um mapa. O problema torna-se crucial quando “*the usefulness of a map has to be evaluated or different methods need to be compared*” (PODOLSKAYA et al. 2007), como por exemplo seleccionar o melhor algoritmo para uma aplicação específica.

De acordo com LILLESAND et al. (2004) um dos métodos mais comuns para avaliar a exactidão de uma classificação consiste na criação de uma Matriz de Erro (ou tabela de contingências, matriz de confusão). A matriz de erro compara categoria a categoria a relação entre a informação de referência (verdade no terreno) com os resultados correspondentes advindos de uma classificação automática.

O resultado da matriz de erro determina a fiabilidade e qualidade da categorização de um conjunto de *pixels*³⁹ ou objectos⁴⁰ extraídos utilizando como termo de comparação a informação de referência que traduz a verdade no terreno.

São várias as métricas de qualidade calculadas numa matriz de erro relativas à performance da classificação estudada, neste caso, foram utilizados índices de qualidade temática: exactidão global (*overall*), erros de omissão (exclusão) e comissão (inclusão).

³⁹ Em modelo matricial em que o espaço é constituído por uma discretização em células dispostas de forma regular, cuja posição é identificável por índice de linha e coluna, em conjunto com a coordenada da primeira célula e com a dimensão das células. A cada célula está associado um valor numérico, usualmente o *pixel*.

⁴⁰ Em modelo vectorial onde as representações bidimensionais são compostas por objectos estáticos com fronteiras bem definidas. O elemento básico da representação vectorial é o ponto, definido pelas coordenadas cartesianas. As linhas existem geradas por uma sequência de pontos, formando por vezes polígonos.

O índice de exactidão global é calculado através da divisão da área total de elementos correctamente classificados (na EAE e informação de referência), isto é, comum aos dois conjuntos, pela área de união da EAE com a informação de referência, ou área total ocupada pela união dos dois conjuntos.

O erro de omissão ocorre quando um elemento presente na informação de referência, não o é na EAE, resultando numa situação de exclusão da classificação. Estes obtêm-se através da divisão do resultado do cálculo da omissão (quando informação referência = 1 e EAE = 0, onde 0 é um acontecimento negativo e 1 uma ocorrência positiva) pela área total da informação de referência.

No que concerne ao erro de comissão este é calculado através da divisão do resultado do cálculo da comissão (quando informação referência = 0 e EAE = 1) pela área total de elementos classificados na EAE.

Para a avaliação da qualidade temática dos resultados obtidos no Capítulo V. 4., propõe-se a análise da área de sobreposição espacial entre os elementos classificados de forma automática e a informação de referência, de forma a aferir a área de concordância entre ambas as classificações.

Na classe do edificado foram avaliados os resultados das três extracções realizadas de forma a aferir qual a metodologia que possibilitou a melhor extracção. A primeira métrica avaliada foi a qualidade temática dos mapas classificados, com base na área de sobreposição. Os resultados da avaliação da qualidade temática estão esquematizados na Tabela 8⁴¹.

Desta análise resultou um valor de exactidão global para a primeira extracção de 66%, para a segunda de 65%, e para a terceira extracção de 70%, que traduz a concordância global das extracções com a informação de referência.

⁴¹ Ver Anexos VI, VII e VIII.

Índices	Qualidade temática (%)		
	1ª Extracção	2ª Extracção	3ª Extracção
Exactidão Global	66%	65%	70%
Erro de Omissão	44%	43%	46%
Erro de Comissão	24%	25%	20%

Tabela 8 – Índices de qualidade temática dos resultados da extracção automática Edifícios de Telha Laranja

Para a primeira extracção o valor obtido com a aplicação do índice para calcular os erros de omissão foi de 44%, na segunda extracção no valor de 43%, sendo que na terceira extracção o valor chega a 46%, revelando que ficaram ainda alguns edifícios por extrair.

Na Figura 45 evidencia-se a ocorrência deste tipo de erros, estando representado a vermelho os polígonos da informação de referência e a verde o resultado da terceira extracção, verificando-se que existem situações de elementos identificados na informação de referência que não o são na extracção. Este facto explica-se pela dificuldade de classificar alguns edifícios principalmente pela dimensão e heterogeneidade das telhas. Os Erros de Omissão podem ocorrer também em locais cujas telhas se encontram na sombra, ou que têm estados de conservação diferentes.



Figura 45 – Exemplo de erros de omissão (na classe do edificado) para a área de estudo.
A vermelho: informação de referência, a verde: resultados da terceira extracção

Os Erros de Comissão foram de 24% para a primeira extracção, 25% na segunda extracção, e na terceira extracção de 20%. Como é visível na Figura 46, em alguns casos

os polígonos resultantes de processos de EAE excedem em área os polígonos da informação de referência (adquirida por AVI), devido sobretudo à sua orientação e geometria. Assim sendo, apesar de os polígonos resultantes da extracção possuírem uma área coincidente com os polígonos da informação de referência, ultrapassam os limites dos mesmos, sendo essa área contabilizada como erro de comissão.

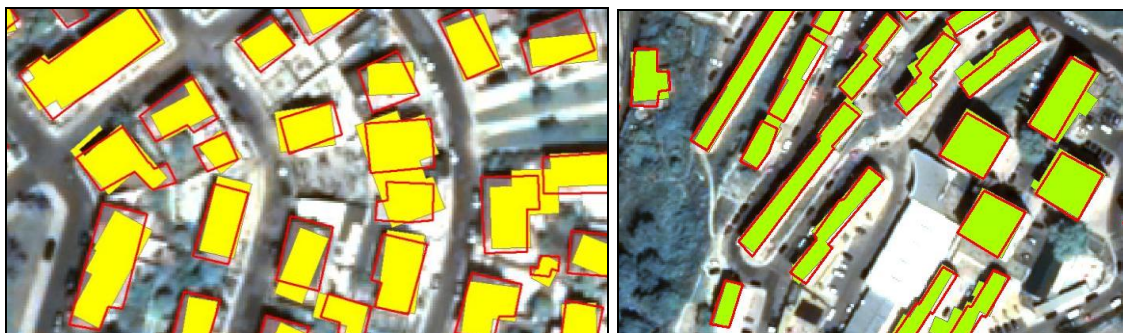


Figura 46 – Exemplo de erros de comissão (na classe do edificado) para a área de estudo.
A vermelho: informação de referência, a amarelo e verde: resultados da EAE.

Assim sendo, com base nos resultados adquiridos através do cálculo das métricas de avaliação temática das extracções do edificado, é possível concluir que a metodologia adoptada no terceiro ensaio produziu melhores resultados e se revela como a mais adequada (de entre as metodologias testadas) para a extracção de edifícios para a área de estudo.

No que concerne à avaliação da qualidade dos resultados extraídos para a classe das vias, foram utilizados os mesmos índices de avaliação temática. Devido a na tarefa de pós-processamento as vias terem sido convertidas para linha e a informação de referência estar representada por polígonos, para proceder à avaliação da sua qualidade (utilizando como variável a área) utilizou-se a classificação que deu origem à conversão para linha. Assim foi possível proceder a uma avaliação dos resultados tendo como termo de comparação a área dos polígonos, e não o comprimento de linha (*shape lenght*) dos resultados pós-classificados. São avaliados os resultados das quatro extracções (dois ensaios) realizadas para as vias, discriminados na Tabela 9.

Índices	Qualidade Temática %		
	1ª Extração	2ª Extração	3ª Extração
Exactidão Global	95%	96%	94%
Erro de Omissão	3 %	2%	3%
Erro de Comissão	52%	52%	51%

Tabela 9 – Índices de qualidade temática dos resultados da extração automática de vias

Contudo, rapidamente se percebeu que os índices testados não se aplicam ao elemento extraído, devido ao elevado índice de exactidão global coadunado com um elevado índice de comissão. Ora, não é possível adquirir um mapa em que a precisão global ronda os 90% com índices de comissão a rondar os 50%. Verificou-se que na digitalização da informação de referência as vias foram digitalizadas em apenas 6 polígonos, englobando estes a área total da classe (1950665,27 m²). Assim sendo, quando a área em que um polígono resultante de EAE⁴² coincide com um polígono de AVI é contabilizada a área total do polígono de AVI e não apenas a área coincidente. Deste modo, para um exemplo mais esclarecedor, o maior polígono resultante de AVI possui 62790,82 m² sendo este contabilizado todas as vezes que existe uma área resultante de EAE coincidente. Este valor foi contabilizado mais de 20 vezes, produzindo falsos índices de qualidade temática.

É possível aferir que para a avaliação da qualidade temática da classe vias pelo método adoptado na dissertação, é essencial que aquando da digitalização da classe vias para constituição de informação de referência seja adoptado um critério para individualização de vias (e.g. digitalizar uma avenida ou uma rua) em detrimento da digitalização de um polígono único que englobe todas as tipologias de vias.

Ainda assim, esta metodologia teria de ser testada pois o FA ao extrair vias também não considera a tipologia da via, nem onde esta começa e acaba, não existindo por isso uma relação de 1-1 entre os resultados de AVI e EAE. Assim sendo, a avaliação da qualidade temática das vias tendo como critério a área de união entre AVI e EAE não demonstra ser adequada para o estudo em questão.

⁴² Em que os elementos extraídos rondam os 40 polígonos e uma área total de 81618,5 m²

➤ **Considerações gerais sobre resultados obtidos por Extracção Automática de Elementos**

É relevante nesta fase comparar o tempo de extracção manual e automática do edificado. Se por um lado o estudo de O'BRIEN (2003) conclui que uma extracção com recurso ao FA pode levar em média 5 vezes menos tempo do que uma extracção manual. No trabalho desenvolvido na presente dissertação para a área de estudo a tratar (Bairro Madre de Deus) a diferença é em média de 20 vezes menos tempo. De facto, a digitalização de informação de referência (no caso edificado de telha laranja) com recurso a ArcGIS (Capítulo V. 2.) consumiu 20 horas, enquanto uma extracção para a mesma área, da mesma classe com recurso ao FA levou 1 hora, fase de pós-processamento incluída (Figura 49). Estes dados revelam o potencial que o FA pode possuir, caso a metodologia testada obtenha resultados positivos para outras áreas de estudo e para extracção de outros elementos, no futuro da extracção automática de objectos.

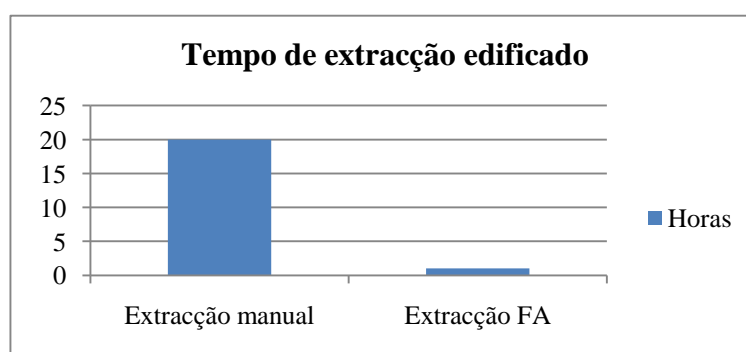


Figura 47 – Tempo dispendido com extracção manual de edifícios e com recurso ao FA, na área de estudo

Assim sendo, é possível afirmar que a aplicação da EAE com recurso ao FA no contexto autárquico permitiria uma redução do tempo que um técnico de uma autarquia despenderia na tarefa de digitalização manual de edifícios de telha laranja pode ser reduzido, poupando-se recursos: tempo e dinheiro, aumentando a eficiência do processo de levantamento/aquisição de informação geográfica e/ou actualização de bases de dados geográficas.

Quanto à extracção de vias, à semelhança do que foi concluído na fase de extracção do edificado, também o recurso ao FA torna o processo de extracção de informação mais expedito e rápido. Se no edificado os valores de diferença entre extracção automática e manual (AVI) estão na ordem das 20 vezes, para extrair automaticamente vias é

necessário 7 vezes menos tempo do que para extrair manualmente as mesmas. Enquanto a digitalização por análise visual de imagem da informação de referência de vias levou 7 horas para a área de estudo, com recurso ao FA apenas foi necessária uma hora para extrair as mesmas (fase de pós-processamento incluída, Figura 50).

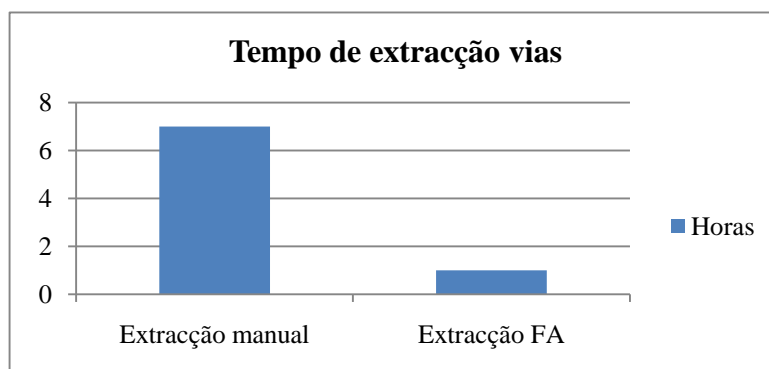


Figura 48 – Tempo dispendido com extracção manual de vias e com recurso ao FA, na área de estudo

Com vista a fazer uma avaliação mais rigorosa dos resultados obtidos por AVI e EAE, a Tabela 10 apresenta a comparação da área extraída com recurso ao FA e manualmente com o tempo de extracção verificamos que é possível verificar que ao comparar o tempo dispendido na extracção por área para o edificado com recurso ao FA o processo foi mais expedito extraíndo mesmo o dobro da área por hora. Contrariamente, na extracção das vias o mesmo não sucede, tendo sido extraída maior área manualmente por AVI do que com recurso ao FA, não deixando neste caso o FA de ser uma ferramenta que permite uma economizar recursos. Este facto deve-se à dificuldade em extrair vias devido à composição material das mesmas, que dificultam o processo de extracção automática.

Comprova-se também o papel que o FA pode desempenhar para a aquisição e actualização de cartografia aumentando a eficiência do processo de extracção tornando-o mais expedito (devido à diminuição de tempo consumido na tarefa).

Elemento	Método	Área / Tempo de extracção	Resultado
Edificado	EAE com FA	225589,5 / 1	225589,5 m2/h
	AVI	247856,5 / 20	12392,82 m2/h
Vias	EAE com FA	81618,5 / 1	81618,5 m2/h
	AVI	1950665,3 / 7	278666,4 m2/h

Tabela 10 – Comparação área extraída / tempo de extracção para AVI e EAE.

CAPÍTULO VI: CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Capítulo I defendeu-se que o recurso à informação geográfica e às metodologias de análise espacial permite melhor compreender e explorar as relações existentes entre os vários factores que moldam os territórios. De facto, a informação geográfica, adequada e actual, e os SIG, proporcionam uma percepção mais rigorosa e exacta da realidade, viabilizando tomadas de decisão tecnicamente. Para além de possibilitarem o conhecimento sistemático do território permitem também a monitorização de alterações em solo urbano, o que em municípios de grande dinâmica (e.g. Lisboa) contribui para uma optimização de recursos e agilização de processos.

A informação geográfica como suporte ao ordenamento do território à escala municipal, possui também um papel preponderante para a prossecução dos objectivos e princípios dispostos na legislação dos IGT e de regulação da produção de cartografia. De facto, com a obrigação da estruturação da informação geográfica em SIG e da disponibilização dos elementos constituintes dos PMOT na *internet*, intensifica-se a necessidade de produção e actualização de informação geográfica ao nível municipal.

Deste modo, a produção de cartografia digital de forma expedita a escalas compatíveis com as exigências das autarquias e com a própria Lei, é um requisito essencial. Para responder a estas exigências, na presente dissertação foi desenvolvida uma metodologia para extracção automática de elementos, conducente à produção de cartografia de base (edifícios e vias) actualizada. Neste sentido, no Capítulo III são apresentadas as vantagens e desvantagens do FA enquanto ferramenta de EAE, sendo as capacidades para a produção de cartografia digital do software testadas no Capítulo V.

Os resultados produzidos para a extracção de edifícios de telha laranja e de vias são satisfatórios, sendo que o melhor resultado para a extracção de edifícios possui um índice de exactidão global de 70% e o pior resultado 65%. Para as vias o melhor resultado é de 96% e o pior de 94%, não sendo no entanto estes valores correspondentes da realidade (conforme defendido no Capítulo V. 5).

Na extracção de edifícios em particular, é pertinente testar outros parâmetros de classificação com o objectivo de melhorar os resultados, nomeadamente no que diz respeito ao padrão de representação espacial e à dimensão da janela de *pixels* utilizados em extracções subsequentes de uma fase de aprendizagem hierárquica. É também

importante, para melhorar os resultados produzidos, experimentar uma variação do número de elementos de treino digitalizados pelo analista, de forma a perceber se a qualidade dos resultados extraídos aumenta com o aumento do número de elementos treino inseridos.

Para a extracção de vias interessa experimentar outras metodologias de avaliação dos resultados, devido a ter-se demonstrado difícil avaliar a qualidade temática de elementos lineares, possibilitando uma comparação com outros estudos e métodos, e subsequentemente uma transposição para outras realidades.

Partindo do pressuposto que os resultados são válidos para a área de estudo para que foram testados, é necessário testá-los e extrapolá-los para outras realidades. Neste sentido, é também necessário desenvolver trabalho para testar os resultados obtidos para o Bairro Madre de Deus num contexto operacional. Neste caso, é pertinente testar a metodologia desenvolvida no contexto autárquico, como por exemplo Lisboa, visto a área de estudo se encontrar nesta autarquia, sendo maior a probabilidade de as características morfológicas dos elementos geográficos constantes na área serem similares. Aferir a qualidade da metodologia desenvolvida em outras áreas é o primeiro passo para verificação da validade do método adoptado. Caso os resultados não sejam satisfatórios para áreas com características diferentes, quer quanto à morfologia, quer quanto à forma urbana, é relevante testar parâmetros de classificação adaptados.

No caso de os resultados apresentarem índices de qualidade temática satisfatórios é pertinente desenvolver um fluxograma para integração do método no sistema de produção/actualização de cartografia no contexto autárquico. Assim sendo, é pertinente desenvolver um processo expedito para integrar a informação geográfica extraída de forma automática com base na metodologia desenvolvida na presente dissertação nas bases de dados e *workflow* municipal, de modo a dar resposta às necessidades das autarquias em matéria de informação geográfica. De ressaltar também que na presente dissertação não são contempladas metodologias para integração de informação geográfica em bases de dados municipais.

Com base na qualidade temática dos resultados obtidos no caso de estudo é possível afirmar que o FA possui vantagens enquanto ferramenta de EAE. Interessa por isso avaliar as potencialidades do FA em vários parâmetros:

- Cumprimento de objectivos;

- Qualidade temática dos resultados obtidos;
- Agilização do processo de extracção automática de informação geográfica;
- Eficiência do processo;
- Níveis de intervenção do analista.

No que diz respeito ao cumprimento dos objectivos, a EAE com recurso ao FA foi considerada adequada pelo facto de os objectivos serem parcialmente alcançados. De facto, o FA permite extrair elementos geográficos não produzindo no entanto resultados 100% concordantes com a realidade no terreno. Os índices de exactidão global obtidos traduzem esta situação. Ao extrair de forma automática elementos geográficos, regra geral o FA não produz resultados em que a área de comum à informação de referência e à EAE é totalmente coincidente. Assim, sendo o objectivo de uma EAE com o auxílio ao FA de extrair a informação presente no terreno de forma automática, este não é plenamente alcançado pois existem, de forma geral, elementos omitidos e falsos positivos.

No que concerne à qualidade dos resultados, consideram-se os resultados da extracção automática de elementos adequados. Realmente ainda não existem estudos suficientes que testem os resultados dos elementos extraídos pelo FA, nem uma metodologia *standard* para os avaliar. É também já sabido que apesar dos esforços para automatizar o processo de extracção automática de elementos e de aproximar a lógica computacional do raciocínio do cérebro humano, um analista tem a capacidade de extrair com maior exactidão elementos de uma imagem devido à consideração das várias características inerente a um objecto geográfico. Mesmo no caso do FA (que considera várias características de um elemento incluindo o contexto espacial), o analista possui o papel preponderante de confirmação e validação da extracção efectuada pelo programa.

Ainda assim, a qualidade temática do produto final da metodologia proposta nesta dissertação, que consiste na informação geográfica respeitante a edifícios e vias extraída com recurso ao FA, para a área de estudo proposta, possui um índice de exactidão global de 70% para a classe do edificado. A metodologia desenvolvida nesta tese produz uma cartografia de base expedita que, embora não apresente a qualidade da

obtida em análise visual de imagem, permite a obtenção de um produto cartográfico com qualidade.

Quanto ao processo de extracção automática de informação geográfica, o FA constitui um interface de simples utilização para o analista. Toma-se como adequado para extrair elementos de forma automática, não só devido à utilização simples do *software* como pela própria lógica e encadeamento de procedimentos.

No que diz respeito à eficiência, um factor que constitui uma vantagem do FA bem como contribui fortemente para o valor do FA enquanto *software* de EAE, é a redução de tempo dispendido a extrair informação geográfica. Em consequência da redução de tempo, existe uma diminuição do consumo de recursos, contribuindo este factor para o aumento da eficiência do processo de EAE.

Em oposição, existe uma desvantagem com grande peso no processo de EAE com recurso ao FA. É esta a forte intervenção do analista no processo de extracção de elementos. Num processo que deve ser automático, a forte participação do analista constitui uma desvantagem que poderá apenas ser contrariado com a evolução da tecnologia e dos processos para extracção de elementos geográficos.

Em suma, após a análise efectuada às vantagens e desvantagens do FA para fins de EAE é possível afirmar que este é adequado para extracção automática de elementos, existindo espaço para o aperfeiçoamento das ferramentas e metodologias que o *software* utiliza.

Este facto constitui *per si* outra mudança de paradigma: a possibilidade de actualização periódica de cartografia municipal para sustentar a tomada de decisões com base em cartografia actualizada através de processos de extracção automática de elementos a partir de imagens de satélite de alta resolução. Assim sendo, é possível sintetizar o valor e utilidade da integração de imagens de satélite, mais especificamente as de alta resolução espacial, na produção de informação geográfica municipal:

- a. Permite uma aquisição de informação periódica, devido à existência de grande número de satélites em órbita com alta resolução temporal.
- b. Possibilita uma cobertura de grandes áreas, a grande resolução espacial, com custos relativamente baixos face à aquisição de fotografia aérea.

- c. Possibilita recorrer a técnicas de processamento digital e/ou análise visual, permitindo seleccionar o método que melhor se aplique ao estudo em questão.
- d. Possibilita recorrer a técnicas de EAE, que apresentam potencial para extracção de informação geográfica em períodos de tempo reduzidos e com baixa intervenção do analista. Este método possui potencial para actualização de cartografia não requerendo análise visual de imagem.
- e. Permite uma produção cartográfica mais rápida, decorrente da aplicação de técnicas de processamento mais expeditas, nomeadamente a EAE. De facto, foi demonstrado no Capítulo V que a EAE permite uma redução do tempo de processamento de uma imagem em comparação com análise visual de imagem.

Para tirar partido do valor e utilidade da integração de imagens de satélite de alta resolução para produção de informação geográfica ao nível municipal é necessário existir pleno conhecimento das necessidades autárquicas em matéria de informação geográfica. Deste modo considera-se necessário desenvolver o tema da necessidade de formalizar as regras de decisão adaptáveis a diferentes áreas de estudo e diferentes tipos de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, P., BAÇÃO, F., LOBO, V., TENEDÓRIO, J. A., 2005. Spatial Modelling of Metropolization in Portugal: Exploratory Analysis of Spatial Metropolization Patterns. *Actas do 14th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*, 09-13 Setembro, Tomar-Portugal.

AGOURIS, P., GYFTAKIS, S. e STEFANIDIS, A., 1998. Using a fuzzy supervisor for object extraction within an integrated geospatial environment. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS*, N° 32 (Parte 3/1), pp. 191-195.

BALTSAVIAS, E., 2002. Object extraction and revision by image analysis using existing geospatial data and knowledge: State of- the-art and steps towards operational systems. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS*, Vol. 34, N° 2, pp. 13-22.

BLUNDELL, J. S. e OPITZ, D. W., 2006. Object recognition and feature extraction from imagery: The Feature Analyst® approach. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS*, Vol. XXXVI-4/C42, CD ROM.

BRENNAN, J. e SOWMYA, A., 1998. Satellite image interpretation using spatial reasoning. *Australasian Remote Sensing Photogrammetry Conference*, Vol. 1, CDROM, 20-24 Julho, Sydney-Australia.

DIAL, G., GIBSON, L. e POULSEN, R., 2001. IKONOS satellite imagery and its use in automated road extraction. *Automatic Extraction of Man-Made Objects from aerial and space images (III)*, Sets & Zeitlinger, Lisse, pp. 357-369

DUAN, J., PRINET, V. e LU, H., 2004. Building extraction in urban areas from satellite images using GIS data as prior information. *Proceedings of Geosciences and Remote Sensing Symposium – IGARRS 2004*, N° 7, pp. 4762- 4764, 20-24 Setembro, Anchorage-Alaska.

EIDENBENZ, C., KASER, C. e BALTSAVIAS, E., 2000. Atom-automated reconstruction of topographic objects from aerial images using vectorized map information. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS*, N° 23.

ENCARNAÇÃO, S., 2004. *Análise de imagem orientada a objecto: abordagem conceptual e experimentação a partir de imagens QuickBird*. Tese de Mestrado em Gestão do Território, Faculdade de Ciências Sociais e Humana, Universidade Nova de Lisboa.

FRASER, C. S., BALTSAVIAS, E. e GRUEN, A., 2002. Processing of IKONOS imagery for submetre 3D positioning and building extraction. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS*, Vol. 56, N° 3, pp. 177-194.

FREIRE, S., SANTOS, T., TENEDÓRIO, J.A. e FONSECA, A., 2008. Extração de objectos geográficos em áreas urbanas densas a partir de imagens de satélite com alta resolução espacial. *Actas do X Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica – ESIG 2008*, 14-16 Maio, Oeiras-Portugal, pp. 279-293.

FREIRE, S., SANTOS, T., BOAVIDA-PORTUGAL, I. e TENEDÓRIO, J.A., 2009. Mapping and characterization of urban agriculture with QuickBird imagery in Lisbon. *Proceedings of 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment – ISRSE 2009*, 4-8 Maio, Stresa-Italy.

GONÇALVES, L., FONSECA, A. M., CAETANO, M., 2001. Exploração de imagens de alta resolução do satélite IKONOS. *Actas do VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica*, pp. 1-22, Oeiras-Portugal.

GONÇALVES, L., CAETANO, M., 2004. Classificação das imagens do satélite IKONOS utilizando uma abordagem orientada por objectos. *Actas da Conferência de Cartografia e Geodesia*, (ed. L. Bastos e J. Matos) Lidel, 287-298, Lisboa-Portugal.

HAALA, N. e BRENNER, C., 1999. Extraction of buildings and trees in urban environments. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing – ISPRS*, N° 54, pp. 130-137.

HEIPKE, C., BEUTNER, S., STRAUB, B. M., WEGMANN, H. e WIEDEMANN, C., 1999. Acquisition and updating of ATKIS using satellite remote sensing imagery. *Proceedings of IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing of the System Earth: A Challenge for the 21st Century – IGARSS’99*, 28 Junho-02 Julho, Hamburg-Germany.

JULIÃO, R. P., 2001. *Tecnologias de Informação Geográfica e Ciência Regional – Contributos Metodológicos para a Definição de Modelos de Apoio á Decisão em Desenvolvimento Regional*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa.

JULIÃO, R. P., 2004. *SIG e Organizações – Factores Chave para o Sucesso*, Comunicação apresentada nas 1^{as} Jornadas SIG da Universidade de Aveiro, Aveiro-Portugal.

LAVIGNE, D. A., HONG, G., ZHANG, Y., 2006. Performance assessment of automated feature extraction tools on high resolution imagery. *MAPPs/ASPRS Fall Conference*, 6 – 10 Novembro, San Antonio-USA.

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. e CHIPMAN, J. W., 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 5th Edition, John Wiley & Sons, USA.

LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., RHIND, D. W., 2005. *Geographical Information Systems – Principles, Techniques, Management, and Applications*. 2nd Edition, Abridged, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

LOPES, J., 2005. *Generalização Cartográfica*. Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

MATOS, J., 2008. *Fundamentos de Informação Geográfica*. 5^a Edição actualizada e aumentada, LIDEL – Edições técnicas, Lda.

MAYER, H., 1999. Automatic Object Extraction from aerial imagery – a survey focusing on buildings. *Computer Vision and Image Understanding Journal*, Vol. 74, N^o 2, pp. 138-149.

MENA, J. B., 2003. State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification. *Pattern Recognition Letters*, Nº 24, pp. 3037-3058.

MORGADO, P., COSTA, N., ROCHA, J., COSTA, E., NETO, P., 2005. Spatial data analysis and GIS: Evaluation model of Territorial Public Policies (METP's). *Actas da II conference & exhibition on geographic information - GIS Planet 2005*, 30 Maio-02 Junho, Estoril-Portugal.

NASR, A., DARWISH, A. M., SHAHEEN, S. I., 2002. Use of intensity-hue-saturation (IHS) transformations in change detection of multitemporal remotely sensed data. *Proceedings of Image and Signal Processing for Remote Sensing VII*, Vol. 4541, pp. 318-327, 28 Janeiro.

O'BRIEN, M., 2003. Feature Extraction with the VLS Feature Analyst System. *Proceedings of the ASPRS Annual Conference*, 05-09 Maio, Anchorage-Alaska.

OGAWA, Y., IWAMURA, K. e KAKUMOTO, S., 2000. Extracting object information from aerial images: A map based approach. *IEICE Transaction on Information and Systems*, Vol. E83-D, Nº 7, pp. 1450-1457.

PIRES DE LIMA, M., 2000. *Inquérito Sociológico - Problemas de metodologia*. Editorial Presença, Lisboa.

PENABAD, J. M. e LLOBET, J. R., 2005. An innovative GIS experience for urban planning. The case of La Coruña City Council. *Actas da II conference & exhibition on geographic information - GIS Planet 2005*, 30 Maio-02 Junho, Estoril-Portugal.

PODOLSKAYA, E. S., ANDERS, K. H., HAUNERT, J. H., SESTER, M., 2007. Quality assessment for polygon generalization. *5th International Symposium on Spatial Data Quality (SDQ 2007)*, Enchede-Holand.

SAN, D. K. e TURKER, M., 2007. Automatic building extraction from high resolution stereo satellite images. *Proceedings of Conference on Information Extraction from SAR and Optical Data, with Emphasis on Developing Countries - ISPRS*, 16-18 Maio 2007, Istanbul-Turkey.

SANTOS, A. S., 2002. *Classificação do uso do solo ao nível municipal*. Dissertação de Mestrado em Planeamento Regional e Urbano, Universidade Técnica de Lisboa.

SANTOS, T., 2003. *Actualização de cartografia temática com imagens de satélite*. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

SANTOS, T., FREIRE, S., PORTUGAL, I., FONSECA, A. e TENEDÓRIO, J. A., 2009a. Accuracy assessment of features extracted from QuickBird imagery for urban management purposes. *Proceedings of 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment – ISRSE 2009*, 4-8 Maio, Stresa-Italy.

SANTOS, T., FREIRE, S., PORTUGAL, I., FONSECA, A. e TENEDÓRIO, J. A., 2009b. Detecção remota urbana: Extração de elementos a partir de imagens de satélite de alta resolução espacial. *Actas da VI Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia - CNCG 2009*, 07-08 Maio 2009, Caldas da Rainha-Portugal.

SOHN, G. e DOWNMAN, I. J., 2001. Extraction of buildings from high-resolution satellite data. In: *Automatic Extraction of Man-Made Objects from aerial and space images (III)*, Sets & Zeitlinger, Lisse, pp. 345-357.

SOHN, G., DOWMAN, I., 2003. Building extraction using LiDAR DEMs and IKONOS images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, WG III/3 Workshop on 3-D Reconstruction from Airborne Laserscanner and InSAR Data, 08–10 October, Dresden-Germany, CD-ROM.

STEINBERG, J., 2002. *Cartographie: systèmes d'information géographique et télédétection*. Armand Colin/VUEF.

TENEDÓRIO, J. A., HENRIQUES, C. D. e SILVA, J. C., 2003. Municípios, Ordenamento do Território e Sistemas de Informação Geográfica. *GeoINova - Revista do Departamento de Geografia e Planeamento Regional*, N°7, UNL-DGPR, Lisboa, pp. 201-219.

VANDERZANDEN, D. e MORRISON, M., 2003. *High Resolution Image Classification: A Forest Service Test of Visual Learning System's Feature Analyst.* USDA Forest Service Publication.

VLS (Visual Learning Systems), 2006a. *Tutorial*, Feature Analyst V. 4.1 for ArcGIS. Visual Learning Systems, Inc.

VLS (Visual Learning Systems), 2006b. *Reference Manual*, Feature Analyst V. 4.1 for ArcGIS. Visual Learning Systems, Inc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

AZEVEDO, J. B., ESCOBAR, I. P. e MELLO, M. P., 2003. Algoritmos para simplificação cartográfica. *Comunicação apresentada no XXI Congresso Brasileiro de Cartografia*, 29 Setembro-03 Outubro, Belo Horizonte-Brasil.

AZEVEDO, M., 2008. *Teses, Relatórios e Trabalhos escolares – Sugestões para estruturação da escrita*. 6ª Edição, Universidade Católica Editora, Lisboa.

BUTTENFIELD, B. e MCMASTER, R., 1991. *Map Generalization: Making rules for knowledge representation*. Longman Scientific & Technical, London.

CAETANO, M., SANTOS, T., CARRÃO, H., NUNES A., e BARREIROS. M., 2001. Desenvolvimento de aplicações para generalização de cartografia temática. *Actas do VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica - ESIG'2001*, 28-30 Novembro, Oeiras-Portugal.

CRUZ, F., 1996. *Concepção e implementação de um Sistema de Informação Geográfica de nível municipal*. Dissertação de Mestrado em Planeamento Regional e Urbano, Universidade Técnica de Lisboa.

D'ALGE, J. C. L. e GOODCHILD, M. F., 1996. Generalização Cartográfica, Representação do Conhecimento e SIG. *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 453-457, 14-19 Abril, Salvador-Brasil.

DIAS, R. M., 2006. *Infra-estruturas municipais de dados espaciais*. Dissertação de Mestrado em Estatística e Gestão de Informação, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa.

DOUCETTE, P., AGOURIS, P., MUSAVI, M. e STEFANIDIS, A., 1999. Automated extraction of linear features from aerial imagery using Kohonen learning and GIS data. *Lecture Notes Computer Science*, Vol. 1737, Springer-Verlag, Berlin-Germany, pp. 20-33.

DUTTER, M., 2007. *Generalization of building footprint derived from high resolution remote sensing data*. Dissertação de Mestrado em Topografia e Geoinformação, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien.

ECO, U., 1977. *Como se faz uma tese em Ciências Humanas*. 3ª Edição, Editorial Presença, Lisboa.

ENCARNAÇÃO, S. A., 2000. *Observação da Mudança de Ocupação do Solo por Detecção Remota: Experimentação sobre o Sector de Oeiras*. Dissertação de Licenciatura, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa.

ESRI, 1996, *Automation of Map Generalization – The Cutting-Edge Technology*, White Paper Series, Environmental Systems Research Institute, Inc., USA, pp. 7.

FERREIRA, A. N., 1999. *Cartografia de áreas urbanas com base em dados de Detecção Remota*. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

FONSECA, A. M., 1999. Segmentação Hierárquica de Imagens Numéricas. *In: V Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica-USIG*, Tagus Park, Oeiras-Portugal.

FONSECA, A., 2008. *INSPIRE – Ponto de situação e desafios futuros*. Comunicação apresentada na sessão iGOV - Infra-Estruturas de Dados Espaciais, 27 Novembro 2008, Auditório Alto dos Moinhos-Portugal.

GALANDA, M., 2003. Modelling constraints for polygon generalization. *Fifth workshop on progress in automated map generalization - ICA*, 28-30 April, Paris-France.

GINIE (Rede Europeia de Informação Geográfica), 2003. *Políticas de Informação Geográfica na Europa: Recomendações de acção*. Resumo Executivo da Política de dados, Universidade de Sheffield – USFD.

GONÇALVES, L. S., 2003. *Avaliação das imagens multiespectrais do satélite IKONOS para produção de cartografia de ocupação do solo*. Dissertação de Mestrado

em Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

GSDI, 2004. *Developing Spatial Data Infrastructures: The SDI Cookbook*. GSDI – Global Spatial Data Infrastructure.

HENRIQUES, C. D., 2007. *Cidade e Tecnologia de Informação Geográfica em contexto Africano: modelação das transformações de uso do solo em Maputo*. Dissertação de Doutoramento em Planeamento Regional Urbanístico, Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa.

ISSMAEL, L., **SILVA**, L. F., 2003. Generalização cartográfica: determinação de conjunto único de operadores. *Comunicação apresentada no XXI Congresso Brasileiro de Cartografia*, 29 Setembro-03 Outubro, Belo Horizonte-Brasil.

LOPES, J. e **CATALÃO**, J., 2005. Generalization of contour lines, a new approach. *Proceedings of II International Conference and Exhibition on Geographic Information – GISPlanet*, 30 Maio-02 Junho, Estoril, CD-ROM.

MATOS, J., 1998. *Análise de qualidade em cartografia para Sistemas de Informação Geográfica*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia do Território, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

MENG, L., 1997. Automatic Cartographic Generalization of Geographic Information. *Report 11087561 Forsvarsmakt, VBB Viak, Stockholm-Sweden*.

MOURÃO, M. e **GASPAR**, R., 1999. Sistemas de Informação nos Municípios. *Fórum SNIG*, Ano III, Nº5, CNIG, Lisboa.

MÜLLER, J. C., **WEIBEL**, R., **LAGRANGE**, J. P. e **SALGÉ**, F., 1995. Generalization: State of the Art and Issues. In: *GIS and Generalization - Methodology and Practice*. Taylor & Francis, London.

MSI (Missão para a Sociedade de Informação), 1997. *Livro Verde para a Sociedade de Informação*, MSI-MCT, Lisboa.

PLANTIER T., CAETANO, M., 2007. Mapas do Coberto Florestal: Abordagem Combinada Pixel/Objecto. *Acta da V Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. Editores: L. Bastos e J. Matos, Lidel, Lisboa, pp. 157-166.

SEVERINO, E. M., 2006. *Sistemas de Informação Geográfica nas Autarquias Locais. Modelo de Implementação*. Dissertação de Mestrado em Ciência e Sistema de Informação Geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa.

SHAN, J., LEE, D. S., 2002. Generalization of Building Polygons Extracted from IKONOS Imagery. *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications - ISPRS*, 09-12 Julho, Ottawa-Canada.

SMALLEN, J. W. N., 2003. *Automated aggregation of geographic objects – a new approach to the conceptual generalization of geographic databases*. Dissertação deDoutoramento, Wageningen University The Netherlands.

RICHARDS, J. A., 1993. *Remote Sensing Digital Image Analysis – An Introduction*, Springer-Verlag, Berlin.

ROCHA, J., 2002. *Integração de Dados Estatísticos na Classificação de Imagens de Satélite*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

ROCHA, J., QUELUZ, M. P., TENEDÓRIO, J. A., 2001. Integração de Dados Estatísticos na Classificação de Imagens de Satélite (IDECIS). *In: VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica-USIG*, Tagus Park, Oeiras-Portugal.

SCHOWENGERDT, R. A., 2007. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*, 3rd Edition, Elsevier Inc., USA.

TENEDÓRIO, J. A., ENCARNÇÃO, S. A., 2004. Urban Land Use: an Object Oriented Analysis. *In: IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*.

TENEDÓRIO, J. A. (dir., coord.), 2003. *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*, Junta Metropolitana de Lisboa, Lisboa.

TENEDÓRIO, J. A., ENCARNÇÃO, S. A., 2003. Object Oriented Image Analysis and Urban Agglomeration Delimitation. A Case Study of Lisbon. *In: 13th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*, Lucca-Itália.

TENEDÓRIO, J. A., 1998. *Télédétection en Milieu Périurbain – Détection et Localisation du Changement de l’Occupation du Sol par Intégration des Données-Satellite SPOT HRV dans un Système d’Information Géographique*. Dissertação de Doutorado pela Universidade de Paris XII – Val de Marne, Institut d’Urbanisme de Paris.

WANG, P. T. e DOIHARA, T. 2004. Automatic Generalization of Roads and Buildings. *Proceedings of the XX ISPRS*, Vol. XXXV, part B4, pp. 249-254, 12-23 Julho, Istanbul-Turkey.

WARE, J. M. e JONES, C. B. 1998. Conflict Reduction in Map Generalization Using Iterative Improvement. *GeoInformatica*, 2(4), pp. 383-407.

WEIBEL, R. e JONES, C.B. 1998. Computational perspective on map generalization. *GeoInformatica*, 2(4), pp. 307-314.

LEGISLAÇÃO

Decreto-Lei nº 33/921, de 5 de Setembro de 1944

Decreto-Lei nº 560/71, de 17 de Dezembro

Decreto-Lei nº 561/71, de 17 de Dezembro

Decreto-Lei nº 280/82, de 26 de Maio

Decreto-Lei nº 53/90, de 13 de Fevereiro, - Série I, emitido por Ministério do Planeamento e da Administração do Território

Decreto-Lei nº 69/90, de 2 de Março, - Série I, emitido por Ministério do Planeamento e da Administração do Território

Decreto-Lei nº. 74/94, de 5 de Março, - Série I-A, emitido por Ministério do Planeamento e da Administração do Território

Decreto-Lei nº 193/95, de 28 de Julho, - Série I-A, emitido por Ministério do Planeamento e da Administração do Território

Decreto-Lei nº 380/99, de 22 de Setembro, - Série I-A, emitido por Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território

Decreto-Lei 8/2002, de 9 de Janeiro, - Série I-A, emitido por Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território

Decreto-Lei nº 310/2003, de 10 de Dezembro, - Série I-A, emitido por Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente

Decreto-Lei nº 202/2007, de 25 de Maio, - Série I, emitido por Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional

Decreto-Lei nº 316/2007, de 19 de Setembro, - Série I, emitido por Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional

Decreto-Regulamentar nº 10/2009, de 29 de Maio, - Série I, emitido por Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

Decreto-Regulamentar nº 11/2009, de 29 de Maio, - Série I, emitido por Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

Despacho nº 33/SEIC/86

Lei nº 48/98, de 11 de Agosto, - Série I-A, emitido por Assembleia da República

Lei nº 56/2007, de 31 de Agosto, - Série I, emitido por Assembleia da República

Portaria nº 138/2005, de 2 de Fevereiro, - Série I-B, emitido por Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema geral da dissertação.....	4
Figura 3 – A: Planta de Ordenamento Amadora; B: Planta de Ordenamento Oeiras, disponível on-line no site da autarquia. Fonte: A: cm-amadora; B: cm-oeiras	20
Figura 4 – Excerto da Planta de Localização de Lisboa Online	30
Figura 5 – Esquema de segmentação multiresolução	49
Figura 6 – Fluxograma geral de processos do FA	54
Figura 7 – Fluxograma metodológico	63
Figura 8 – A: algoritmo <i>Bezier</i> antes e após aplicação em linha e polígono; B: algoritmo <i>Douglas-Peucker</i> antes e após aplicação em linha e polígono.	69
Figura 10 – Comparação do tempo médio para extracção de elementos manualmente em ArcGIS e com recurso ao FA da VLS	70
Figura 12 – Utilização de informação auxiliar para validação de informação de referência. A: imagem QuickBird, B: imagem do Google maps.	76
Figura 13 – Informação de referência: A: edificado, B: vias	76
Figura 14 – Exemplo de fotografias obtidas no Bairro Madre de Deus.	77
Figura 15 – Fluxograma detalhado dos processos do FA.....	79
Figura 16 – metodologia geral para a extracção de edificado	80
Figura 17 – Elementos de treino para a primeira extracção	81
Figura 18 – Resultado da primeira extracção de edificado	83
Figura 19 – Identificação de objectos classificados correcta e incorrectamente na extracção de edifícios de telha laranja	84
Figura 20 – A: padrão espacial Bull's Eye 4; B: padrão espacial Manhattan 5	85
Figura 21 – Resultados da extracção após aprendizagem hierárquica	86
Figura 22 – A amarelo exemplo de objectos eliminados pela agregação de polígonos, a rosa polígonos resultantes da agregação.....	86

Figura 23 – A: resultado da extracção automática sem agregação; B: algoritmo Bezier; C: algoritmo Douglas-Peucker; D: tornar objectos rectângulos (<i>square up</i>).	88
Figura 24 – A rosa: extracção após aplicação de quadratura de objectos; a amarelo: informação de referência	88
Figura 25 – Elementos de treino para a segunda extracção do edificado.....	89
Figura 26 – Resultado da segunda extracção de edificado.....	90
Figura 27 – A: identificação de elementos classificados correcta e incorrectamente; B: resultado da extracção após aprendizagem hierárquica.....	90
Figura 28 – A amarelo: resultados da extracção automática; a laranja: resultados com agregação de polígonos	91
Figura 29 – A: resultado da extracção automática sem agregação; B: algoritmo Bezier; C: algoritmo Douglas-Peucker; D: quadratura de objectos.	93
Figura 31 – A: processo de aprendizagem hierárquica; B: resultados da aprendizagem hierárquica	95
Figura 32 – A vermelho: resultado da aplicação do algoritmo <i>square up</i> ; a amarelo: informação de referência	96
Figura 33 – Metodologia geral para a extracção de vias	97
Figura 34 – Elementos de treino primeira extracção vias	98
Figura 35 – Resultados: A: Primeira extracção; B: Segunda extracção	100
Figura 36 – Aprendizagem hierárquica: A: 1ª extracção; B: 2ª extracção	100
Figura 37 – Adição de elementos: A: 1ª extracção; B: 2ª extracção	101
Figura 38 – Aprendizagem hierárquica – adição de elementos: A: 1ª extracção; B: 2ª extracção.....	102
Figura 39 – Resultado final A: 1ª extracção; B: 2ª extracção.....	103
Figura 40 – Pormenor da 2ª extracção: A: resultado sem generalização; B: algoritmo <i>Bezier</i>	104
Figura 41 – Comparação do resultado final (em linha) com a informação de referência (vermelho): A: 1ª extracção; B: 2ª extracção.....	104

Figura 42 – A: Resultado extracção vias; B: Aprendizagem Hierárquica, C: Resultado da Aprendizagem Hierárquica	106
Figura 43 – A: adição de elementos; B: aprendizagem hierárquica sobre adição de elementos	107
Figura 44 – A: Resultado final da 2ª extracção da classe vias; B: Comparação informação de referência (azul) com o resultado da 3ª extracção – linha	108
Figura 45 – Exemplo de erros de omissão (na classe do edificado) para a área de estudo.	111
Figura 46 – Exemplo de erros de comissão (na classe do edificado) para a área de estudo.....	112
Figura 47 – Tempo dispendido com extracção manual de edifícios e com recurso ao FA, na área de estudo.....	114
Figura 48 – Tempo dispendido com extracção manual de vias e com recurso ao FA, na área de estudo	115

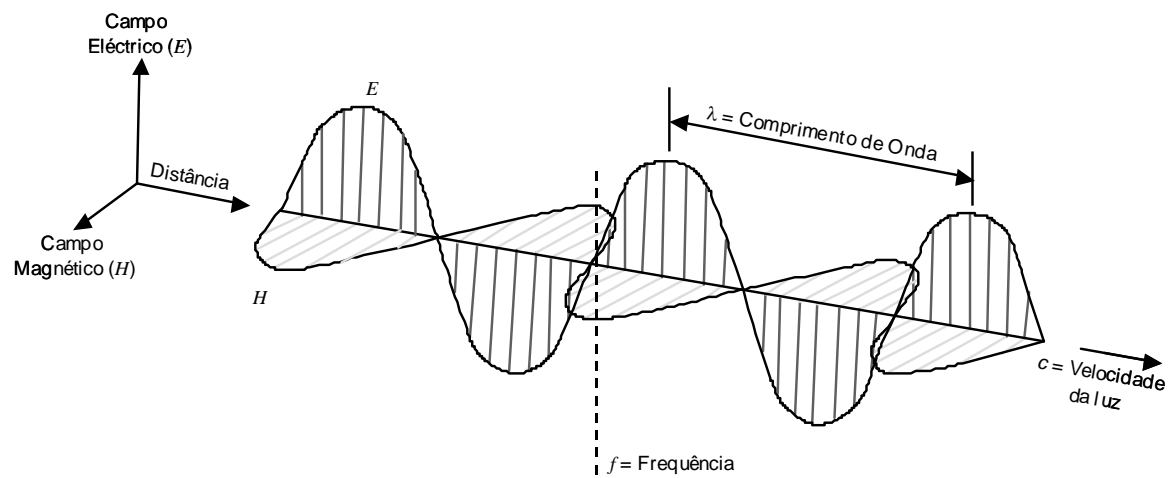
ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de dados para a interpretação de imagem por nível hierárquico de nomenclatura do USGS	37
Tabela 2 – Características de alguns satélites de observação terrestres	38
Tabela 3 – vantagens e desvantagens de AVI e PDI	43
Tabela 4 – Estudos realizados sobre extracção de informação geográfica.....	52
Tabela 5 – Classes digitalizadas a partir de análise visual de imagem para o projecto GeoSat	74
Tabela 6 – Extracções e parâmetros do primeiro ensaio edifícios telha laranja.....	80
Tabela 7 – Extracções e parâmetros do primeiro ensaio vias.....	97
Tabela 8 – Índices de qualidade temática dos resultados da extracção automática Edifícios de Telha Laranja.....	111
Tabela 10 – Comparação área extraída / tempo de extracção para AVI e EAE.....	115

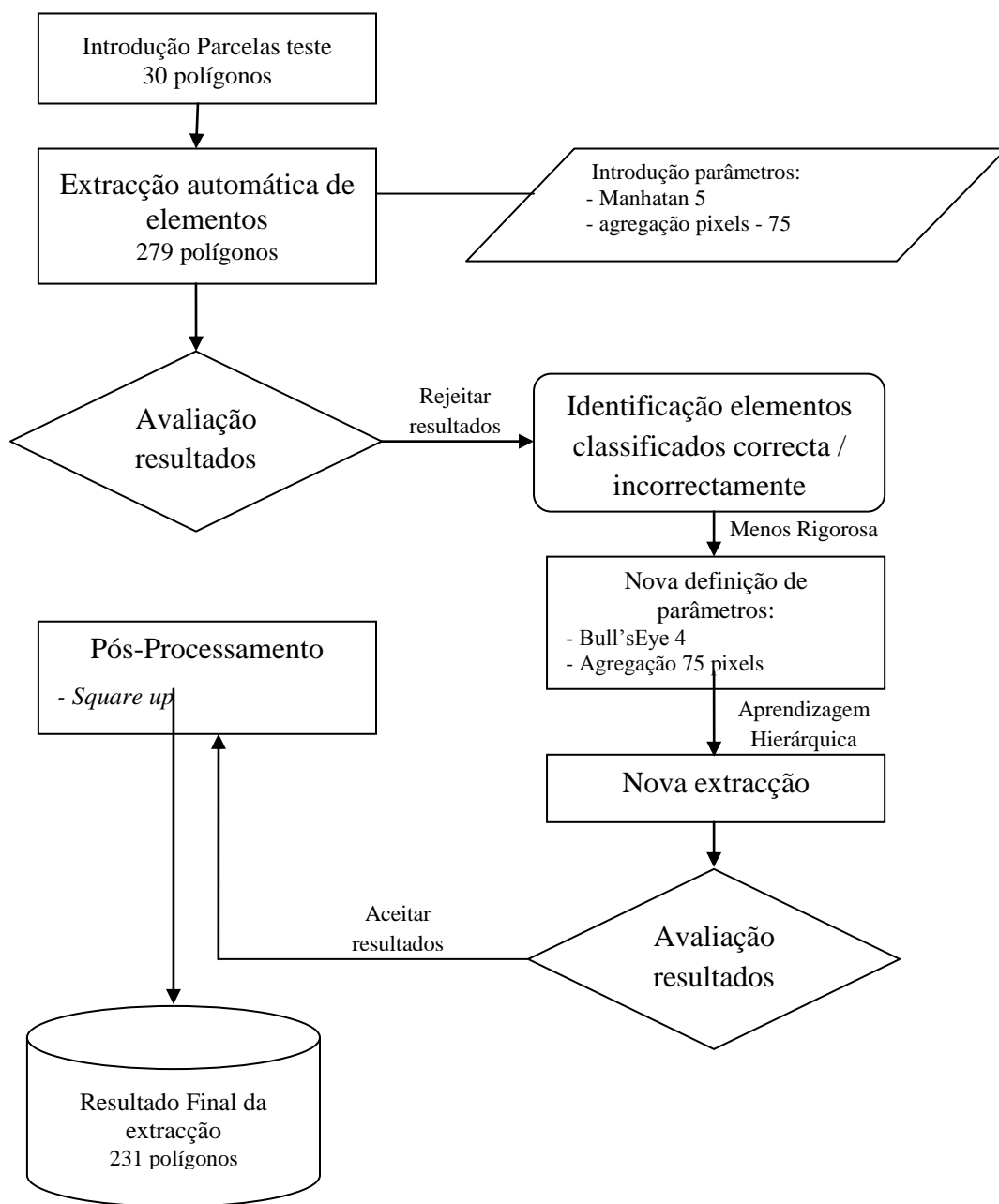
ANEXO I - Conteúdo documental dos PMOT definido pelo DL n.º 380/99 com alterações introduzidas pela Portaria n.º 138/2005

Elementos	Plano Director Municipal		Plano de Urbanização		Plano de Pormenor	
	Decreto-Lei n.º 380/99	Portaria n.º 138/2005	Decreto-Lei n.º 380/99	Portaria n.º 138/2005	Decreto-Lei n.º 380/99	Portaria n.º 138/2005
Fundamentais do Plano	- Regulamento - Planta de Ordenamento - Planta de Condicionantes		- Regulamento - Planta de Zonamento - Planta de Condicionantes		- Regulamento - Planta de Implantação - Planta de Condicionantes	
Complementares ao Plano	- Estudos de caracterização do território municipal - Relatório fundamentando as soluções adoptadas - Programa de disposições indicativas sobre a execução das intervenções e sobre os meios de financiamento	- Planta de enquadramento regional - Planta da situação existente - Relatório e ou planta com indicação das licenças de operações urbanísticas emitidas - Carta da estrutura ecológica municipal	- Relatório fundamentando as soluções adoptadas - Programa de disposições indicativas sobre a execução das intervenções e sobre os meios de financiamento	- Planta de enquadramento regional - Planta da situação existente - Relatório e ou planta com indicação das licenças de operações urbanísticas emitidas - Carta da estrutura ecológica municipal - Plantas de identificação do traçado de infra-estruturas	- Relatório fundamentando as soluções adoptadas - Peças escritas e desenhadas que suportem operações de transformação fundiária - Programa de disposições indicativas sobre a execução das intervenções e sobre os meios de financiamento	- Planta de enquadramento regional - Planta da situação existente - Relatório e ou planta com indicação das licenças de operações urbanísticas emitidas - Plantas de elementos técnicos

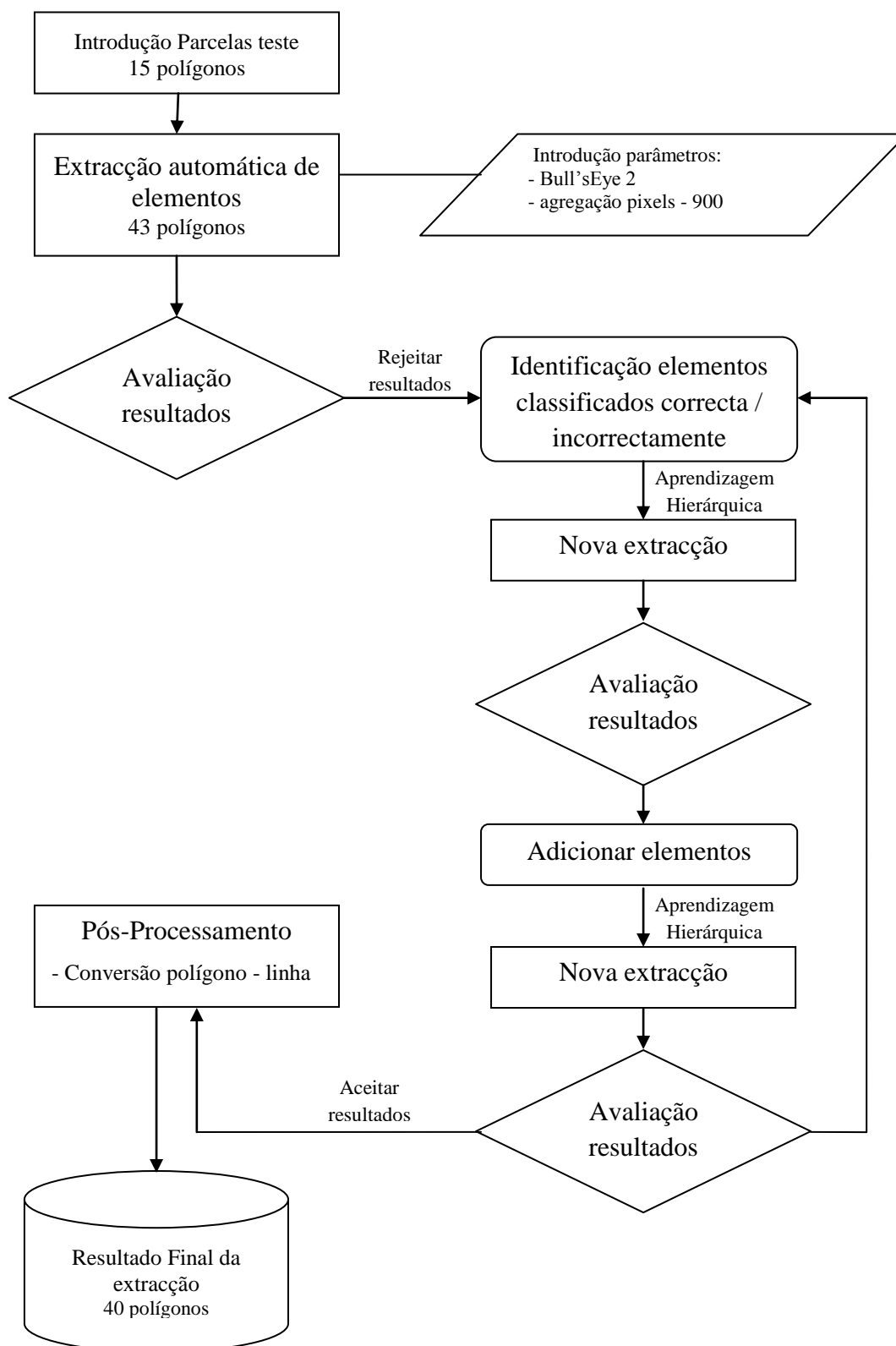
ANEXO II - Onda electromagnética (adaptado de LILLESAND *et al.*, 2004)



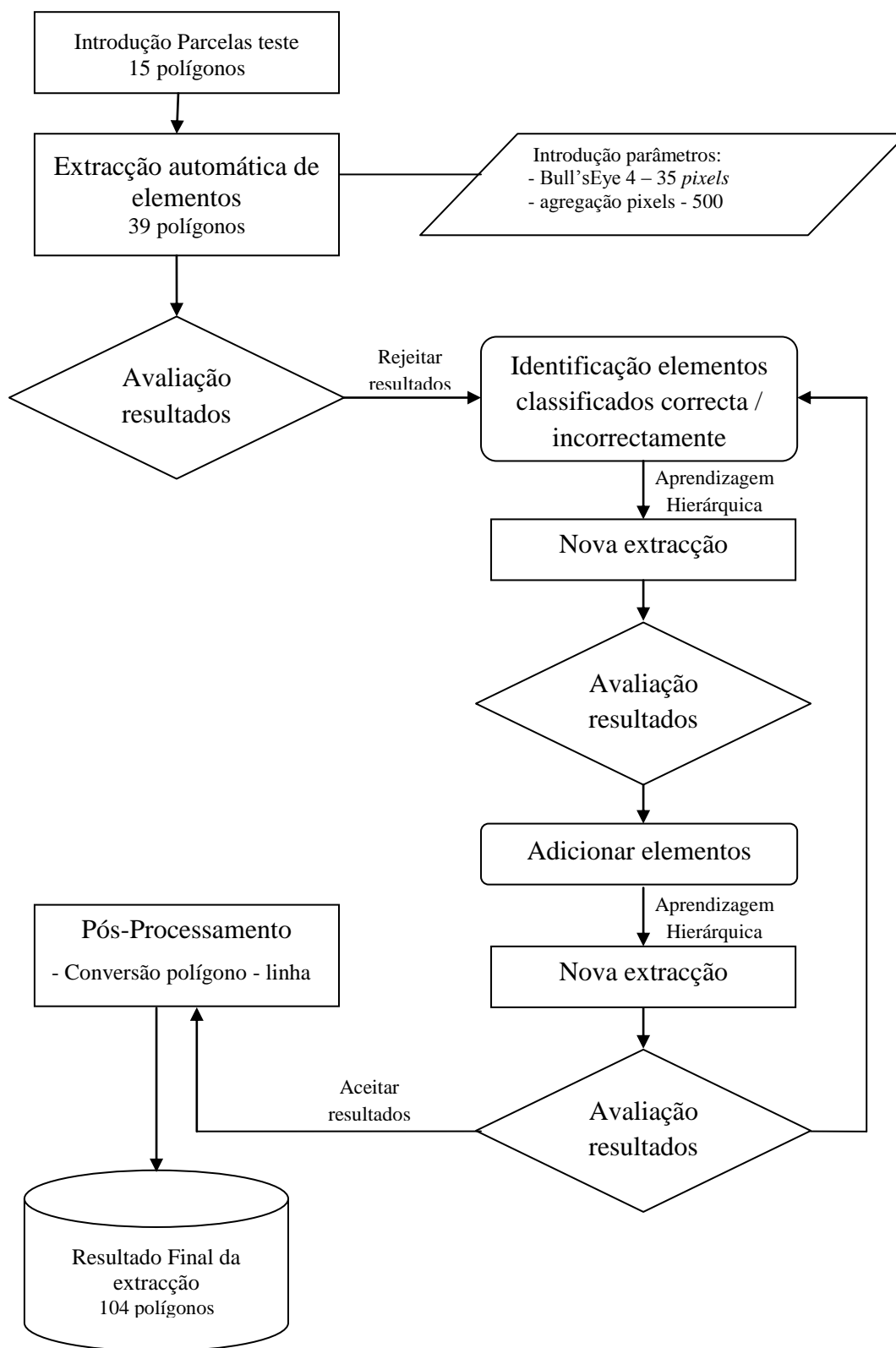
ANEXO III – Metodologia adoptada na terceira extracção para edificado



ANEXO IV – Metodologia adoptada na primeira extracção para as vias



ANEXO V - Metodologia adoptada na terceira extracção para as vias



ANEXO VI – Índices de Qualidade Temática para a primeira extracção da classe edificado

Exactidão Global	$310450 / 473446 = 0.66$	66%
Omissão	$109827 / 247857 = 0.44$	44%
Comissão	$53172 / 225589 = 0.24$	24%

ANEXO VII – Índices de Qualidade Temática para a segunda extracção da classe edificado

Exactidão Global	$294446 / 453451 = 0.65$	65%
Omissão	$109267 / 251839.59 = 0.43$	43%
Comissão	$49738 / 201610.75 = 0.25$	25%

ANEXO VIII – Índices de Qualidade temática para a terceira extracção da classe edificado

Exactidão Global	$390031 / 561139 = 0.70$	70%
Omissão	$106952 / 234090.91 = 0.46$	46%
Comissão	$64156 / 327052.31 = 0.20$	20%